

MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE TÉCNICAS DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN ESPAÑA

F Medina, A Iglesias, C Mateos

Dpto. Economía y Ciencias Sociales Agrarias, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Avenida de la Complutense, s/n - 28040 Madrid - ana.iglesias@upm.es; felipemedinamartin@yahoo.es

RESUMEN

El Protocolo de Kyoto establece unos objetivos de control de emisiones de gases de efecto invernadero que se definen más detalladamente en los acuerdos post-Kyoto de las Conferencias de las Partes (COP). En este contexto, la Comisión Europea pretende incluir el apoyo a las acciones destinadas a controlar las emisiones de gases de efecto invernadero (mitigar) el cambio climático en su estrategia de Desarrollo Rural para el periodo 2008 - 2013. Este estudio tiene como objetivos identificar las prácticas agrarias de la agricultura ecológica que reducen la emisión de gases con efecto invernadero y sugerir instrumentos de política agraria destinados a apoyar los cambios necesarios para lograr dicha reducción. Para ello el estudio desarrolla metodologías de caracterización de prácticas agrarias con potencial de mitigación, de evaluación de los costes de implementación y de análisis de las barreras e incentivos para su implantación. Los resultados sugieren que la agricultura ecológica tiene un potencial de mitigar el cambio climático. El estudio forma parte de un proyecto financiado por la Comisión Europea (PICCMAT, 2008) que tiene como objetivo formular recomendaciones sobre la capacidad de la agricultura para mitigar el cambio climático para su incorporación en la Política Agraria Común, focalizados en incentivos articulados a través de las medidas agroambientales o en la obligación de su implementación mediante un sistema de condicionalidad en el que los agricultores reciben la totalidad de sus ayudas solamente si cumplen determinados requisitos medioambientales.

Palabras clave: Agricultura ecológica, cambio climático, política agraria y desarrollo rural

INTRODUCCIÓN

Los espacios agrícolas ofrecen un gran potencial para paliar los efectos de los gases de efecto invernadero debido principalmente a su capacidad de absorción de CO₂ (Smith, 2007a). El secuestro de carbono por parte de los suelos agrícolas es un factor esencial a tener en cuenta en el diseño de futuras estrategias. Tan importante como la mitigación del cambio climático, es la adaptación a sus consecuencias, es decir, el desarrollo de medidas con el objetivo de reducir el impacto que sobre las producciones pueda tener un determinado riesgo (IPCC, 2007).

La Comisión Europea ha puesto en marcha en los últimos años una serie de proyectos de investigación sobre el cambio climático y la agricultura tales como el proyecto PESETA, con el objetivo de considerar este hecho en las futuras reformas de la Política Agraria Común, siendo este uno de los puntos de mayor importancia marcado para revisar durante el llamado "Chequeo Médico" durante el año 2008. (COM, 2008)

Algunos modelos de producción agraria como la agricultura ecológica o la agricultura de bajos insumos, con la utilización de variedades locales bien adaptadas y con

técnicas tradicionales mucho menos dependientes de productos químicos de síntesis, deben ser evaluados como alternativas reales de la agricultura para la mitigación del cambio climático. Tal y como afirman algunos autores (smith, 2007b), la agricultura ecológica puede reducir sensiblemente las emisiones de CO₂ al tratarse de un sistema permanente de producción sostenida, por el ahorro energético que supone el mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante inputs internos (rotaciones, abonos verdes, cultivo de leguminosas, etc.), por la ausencia del uso de fitosanitarios y fertilizantes de síntesis y los bajos niveles de la externalización en la alimentación del ganado debido a la extensificación y al aprovechamiento de los recursos locales. La eficiencia de captación de carbono en sistemas de producción ecológica es de 41,5 t de CO₂ por hectárea, mientras que en los sistemas de producción convencional se reduce a 21,3 t de CO₂ por hectárea. (Smith, 2004; SEAE, 2006)

Las prácticas agrícolas características de la producción ecológica como el laboreo reducido, la asociación de cultivos, el aprovechamiento de tierras de baja productividad, una utilización racional y eficiente de los fertilizantes, el compostaje aeróbico de estiércoles y restos de cosecha, la utilización de materia orgánica compostada para la fertilización, la utilización de abonos verdes, la dedicación de parte de las tierras cultivables en zonas verdes con vegetación espontánea y especies forestales (incluidos cultivos agroforestales en franja), la incorporación de restos y podas al suelo, el desarrollo de rotaciones adecuadas, el establecimiento de cubiertas vegetales, un buen control de la erosión, etc. son técnicas agrarias que se están utilizando en la actualidad, y que pueden ser desarrolladas a nivel de las distintas explotaciones ayudando así en la reducción de las emisiones a la atmósfera de CO₂ y N₂O principalmente.

Como se ha comentado, las técnicas aplicadas en la agricultura ecológica contribuyen a la fijación de estos compuestos en el suelo, evitando su salida a la atmósfera y contribuyendo además a una mayor retención de agua y a una menor erosión del mismo (Kurkalova, 2004). Resulta evidente pues, que con la extensión de estas prácticas, los espacios agrícolas aumentan el gran potencial para paliar los efectos de los gases de efecto invernadero debido a su capacidad de absorción de CO₂ y otros compuestos.

El secuestro de carbono por parte de los suelos agrícolas es un factor esencial a tener en cuenta en el diseño de futuras estrategias. Sin embargo, conviene tener en cuenta que, siendo este sistema de producción una verdadera alternativa de la agricultura para la mitigación del cambio climático, se han de valorar las dificultades que acarrearía en la actualidad, una implantación a gran escala de estas prácticas características de este modelo de producción en nuestra agricultura.

La Tabla 1 se detalla algunas estimaciones donde se observa el potencial mitigador de distintas prácticas o técnicas agrarias que pueden ser desarrolladas con el objetivo de mitigar el cambio climático.

En este estudio se evalúan las distintas técnicas agrarias desarrolladas en la actualidad en sistemas con manejo ecológico, que pueden contribuir a una menor emisión de gases de efecto invernadero mitigando así los efectos del cambio climático, así como aspectos relacionados con su potencial de mitigación, su grado de implementación, las posibles barreras para su mayor desarrollo y el coste económico que esto supondría en caso de ser incentivadas a través de la política agraria. Para ello se ha hecho especial hincapié en las normativas europeas que regulan la condicionalidad y la aplicación de las medidas agroambientales (CE, 2003; CE, 2004), así como las correspondientes transposiciones a Reales Decretos de nuestro país (MAPA, 2002; MAPA, 2007).

Medida	Media (t CO ₂ eq / ha y año)	Rango (t CO ₂ eq / ha y año)
Cubiertas vegetales	0.33	-0.21 – 1.05
Laboreo reducido	0.17	-0.52 – 0.86
Gestión de restos de cosecha/poda	0.17	-0.52 – 0.86
Optimización uso fertilizantes	0.33	-0.21 – 1.05
Rotación de cultivos	0.39	0.07 – 0.71
Asociación con leguminosas	0.39	0.07 – 0.71
Agroforestación	0.17	-0.52 – 0.86

Tabla 1. **Potencial mitigador de distintas técnicas agrarias.** Fuente: PICCMAT, 2008

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente estudio se ha procedido a identificar en primer lugar, todas aquellas medidas o técnicas agrarias aplicadas en agricultura ecológica que pueden ser de utilidad en la mitigación del cambio climático. Posteriormente, tras haber seleccionado aquellas de mayor potencial en base a los distintos criterios apoyados en los estudios de caso desarrollados en producciones de cereal en Castilla la Mancha y de olivar en Andalucía, se ha analizado la viabilidad técnica, económica, social, y legislativa de implantación de cada una de ellas. A continuación se detalla el proceso metodológico (Figura 1).

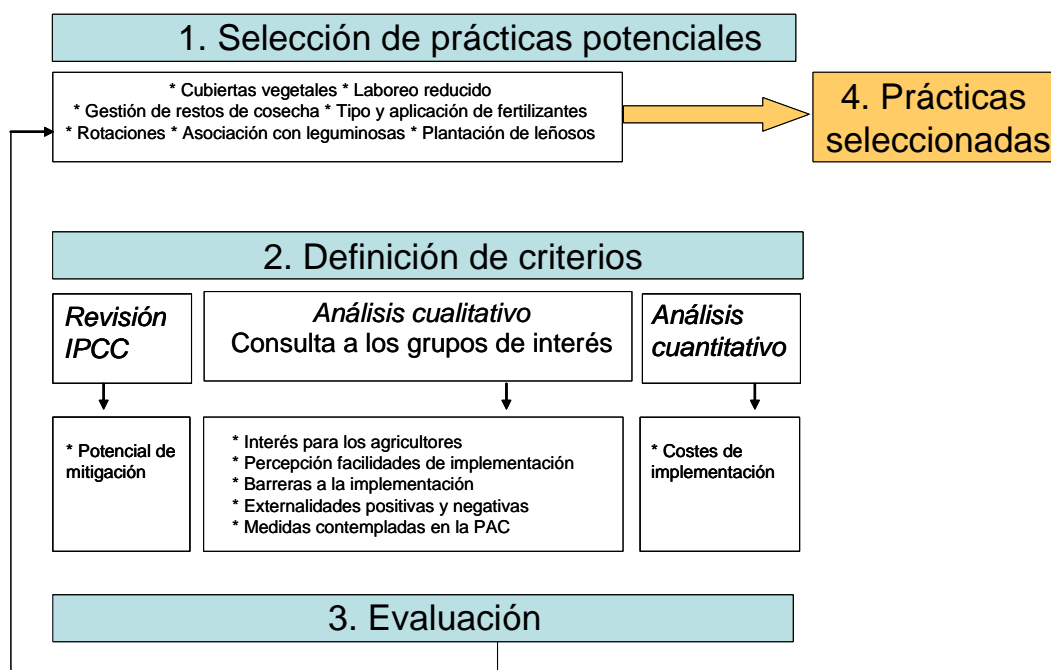


Figura 1. Esquema metodológico (Fuente: Medina, en preparación)

Para la realización del estudio de selección y análisis de la viabilidad de implantación de las técnicas agrarias enfocadas a la mitigación del cambio climático, se han elegido dos cultivos predominantes y representativos de nuestra agricultura como son el cereal y el olivar, los cuales representan casi la mitad del área agrícola del país. El estudio de caso de del olivar se ha localizado en Andalucía, cuya extensión es de 87.597 km². La producción de olivar es una de las más representativas de nuestra agricultura, siendo España el primer productor de aceituna del mundo. La superficie plantada de olivar en España es 2.423.841 ha. En términos de superficie, la producción de olivar comprende el 13% de la superficie total cultivada y el 48,5% de la superficie de cultivos permanentes.

Por otro lado, el estudio de caso para la producción de cereal se ha localizado en Castilla la Mancha. Desde el punto de vista del estudio de las prácticas agrarias relacionadas con la emisión de GEIs, se ha elegido esta producción por representar a su vez una gran superficie a nivel europeo. Castilla-La Mancha tiene una superficie de 7.946.100 ha, de las cuales unas 5.679.554 ha son agrícolas o ganaderas. El número total de explotaciones en esta zona es de 137.122. Castilla-La Mancha, zona que abarca el 28% de la superficie de cebada en España, el 28% de la producción de avena, el 15% de la superficie dedicada a la producción de trigo blando con una producción de 659.300 toneladas y el 2% de la superficie dedicada al cultivo de trigo duro, siendo la segunda zona productora más grande de España. Las fuentes de información y datos en los dos estudios de caso se resumen en la Tabla 2.

Tipo de información	Fuente de investigación y documentación técnica
1. Datos estadísticos	Ministerio de Medio Ambiente, medio rural y marino
2. Datos experimentales	Obtenidos de la finca de investigación perteneciente al CSIC denominada "La Higuera" situada en la provincia de Toledo y donde se realizan investigaciones y ensayos en producciones de cereal, olivar y viñedo principalmente.
3. Entrevistas con agricultores	El objetivo es recoger información primaria de las posibilidades de implementación que podrían tener las distintas técnicas agrarias de mitigación del cambio climático. Número de entrevistas:13
4. Entrevistas con expertos de la administración y de fincas experimentales	Objetivo: Recoger información técnica sobre las posibles barreras que las técnicas agrarias podrían tener para su implementación. Las entrevistas y los grupos de trabajo han incluido Ministerio de Medio Ambiente, medio rural y marino (5 expertos) Organizaciones de Agricultores y Ganaderos (2 expertos) Fincas experimentales (1 experto)
5. Revisión de comunicaciones, informes, publicaciones y proyectos de investigación	Consulta de bibliografía en las bibliotecas de COAG, de la E.T.S.I. Agrónomos, del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino y prensa y publicaciones especializadas.

Tabla 2. Tipos y fuentes de información

La consulta de los grupos de interés se llevó a cabo de la siguiente forma:

1/ Cuestionario para los agricultores y sus representantes en las organizaciones profesionales agrarias (COAG y UPA), llevadas a cabo por correo y entrevistas personales.

2/ Grupo de trabajo de carácter técnico con la participación de expertos del Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y Marino (5), de organizaciones profesionales agrarias (2), de expertos del Dpto. de Economía Agraria de la ETSI Agrónomos (3) y del CSIC (1), celebrado en Madrid en el mes de Octubre de 2007.

Para un adecuado estudio y cuantificación de los costes que acarrearía la implantación de las distintas técnicas agrarias existen diferentes métodos y fuentes de datos con diferentes grados de complejidad aunque no muy numerosos. Sin embargo, para el cálculo del coste de implantación de las medidas, se ha preferido un sistema simple, que pueda ser extendido fácilmente al resto de zonas y basado en los actuales cálculos empleados para el establecimiento de las primas de las medidas agroambientales en los Planes de Desarrollo Rural (PDRs) de cada Comunidad Autónoma (Junta de Andalucía, 2008; Junta de Castilla la Mancha, 2007). Por tanto, esta metodología, aprobada y desarrollada por la Comisión Europea, parece la forma más idónea de estimar el coste total de implementación.

Esta metodología está basada en tres aspectos básicos: la valoración del lucro cesante, la estimación de los costes adicionales para el productor y el establecimiento de un incentivo en caso de que se considere necesario. La implementación de estas medidas ha de ser controladas mediante un libro de explotación del que no se suele disponer en las propias explotaciones. Tan sólo se dispone de él en aquellas acogidas a alguna medida agroambiental. De igual forma, conviene tener en cuenta que la realización de análisis con el objetivo de controlar determinados aspectos del cumplimiento de los compromisos, supone un gasto adicional para el productor.

Este sencillo método tiene la ventaja de que los productores, especialmente aquellos dedicados a la producción ecológica, conocen esta metodología ya que están haciendo uso de ella en la actualidad para poder acceder a las primas agroambientales. De esta forma, los resultados obtenidos así como la propia metodología, pueden ir trasladándose a cada una de las zonas de producción en las que se esté interesado en su cálculo. Una vez realizados los cálculos, esta metodología da pie al debate sobre la necesidad o no de establecer una serie de incentivos con los que promocionar, sobre todo al principio, la necesidad de implantar dichas medidas en la mayor superficie posible.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medidas que han sido seleccionadas por su mayor facilidad de implementación según las entrevistas y grupos de trabajo realizados al efecto son las siguientes: laboreo reducido, utilización de cubiertas vegetales, gestión y reutilización de restos de cosecha, optimización de la dosis/tipo de fertilización, rotación de cultivos, asociación con leguminosas, la plantación de cultivos leñosos y la agrosilvicultura en leñosos. La Tabla 3 resume las definiciones de estas medidas.

Medidas de mitigación consideradas	Definición
Cereales en Castilla la Mancha	
1. Cubiertas vegetales	Cultivar simultáneamente en la explotación otra especie vegetal además del cultivo con el que se complementa, de forma que las interacciones que se producen entre ellas ejercen un efecto estimulante sobre las mismas, redundando en una mejora de los rendimientos y de retención de nutrientes. Ej: barbecho sembrado o con vegetación espontánea, cultivos de verano intercalados (girasol), mantenimiento del rastrojo de la cosecha en el suelo hasta su incorporación en otoño.
2. Laboreo reducido	Laboreo superficial, perpendicular a la pendiente o no laboreo con el objetivo de reducir la descomposición, incremento de las cantidades de C en el suelo y reducción de emisiones de GEIs mediante reducción de la aireación y la incorporación de restos de cosecha al suelo y por menor utilización de maquinaria pesada.
3. Utilización de restos de cosecha	Incorporación de restos de cosecha (paja y/o rastrojo) al suelo mediante utilizada para una mejor conservación del agua, retorno e incorporación de C al suelo facilitando el secuestro de C.
4. Optimización del uso de fertilizantes	Cambios en las cantidades de aplicación, en la localización o en el tipo de fertilizante como por ejemplo la aplicación en grietas o zonas de ruptura.
5. Rotación de cultivos	Introducción de distintos cultivos en la misma parcela a lo largo del tiempo con el objetivo de mejorar el aprovechamiento de los nutrientes del suelo. Relacionado con la asociación de cultivos y la optimización del uso de fertilizantes.
6. Asociación con leguminosas	Cultivo en la misma parcela de cereal con leguminosas con el objetivo de aumentar la fijación de N en el suelo y mejorar aprovechamiento de los nutrientes.
7. Plantación de cultivos leñosos	Transición de cultivos herbáceos a cultivos leñosos. Ej: restauración de setos y lindes con especies forestales o reforestación de tierras agrarias.
Olivar en Andalucía	
1. Cubiertas vegetales	Mantenimiento de vegetación espontánea o siembra de mezcla de especies vegetales herbáceas o leguminosas entre los árboles con el objetivo de retener nutrientes en el suelo y disminuir las emisiones de GEIs.
2. Laboreo reducido	Laboreo superficial, perpendicular a la pendiente o no laboreo con el objetivo de reducir la descomposición, incremento de las cantidades de C en el suelo y reducción de emisiones de GEIs mediante reducción de la aireación y la incorporación de restos de cosecha al suelo.
3. Utilización de restos de poda	Incorporación de restos de poda al suelo mediante utilizada para una mejor conservación del agua, retorno e incorporación de C al suelo facilitando el secuestro de C.
4. Asociación con leguminosas	Cultivo de leguminosas en las calles entre las hileras de árboles con el objetivo de aumentar la fijación de N en el suelo y mejorar el aprovechamiento de los nutrientes.
5. Optimización del uso de fertilizantes	Cambios en las cantidades de aplicación, en la localización o en el tipo de fertilizante como por ejemplo la aplicación en grietas o zonas de ruptura.

Tabla 3. Medidas de mitigación consideradas y definiciones

Los resultados del trabajo muestran que todas estas medidas están siendo desarrolladas por la mayor parte de los productores ecológicos que, en la actualidad, se encuentran acogidos a las ayudas por las medidas agroambientales. La Tabla 4 resume los resultados de la consulta a los agricultores en relación con la implementación de las distintas medidas. El laboreo reducido y la optimización en el uso de fertilizantes son las medidas más fáciles de implementar a priori según la opinión de los productores encuestados. Sin embargo, la rotación de cultivos, la

reutilización de restos de cosecha, la asociación con leguminosas y la utilización de cubiertas vegetales son algo más difíciles de desarrollar según los productores, ya que son técnicas que requieren un mayor conocimiento y grado de formación. Según la opinión de los propios agricultores, la medida más difícil de implantar es el cambio de cultivo hacia producciones de leñosos, ya que las condiciones climatológicas no lo permiten en algunos de los casos.

Medidas para producción de cereales y olivar	Motivos (legales, hábito, rentabilidad, etc.)	Cambios considerados por introducción de nuevas prácticas	Percepción general sobre la medida	Potencial de mitigación
Cubiertas vegetales	Medioambientales	Medioambientales	+	++
Laboreo reducido	Económicos	Económicos	+++	+
Utilización de restos de cosecha	Hábitos y medio ambiente	-	+	++
Optimización del uso de fertilizantes	Eficiencia energética	Medioambientales, económicos	++	++
Rotación de cultivos	Medioambientales	Biodiversidad, económicos	+	++
Asociación con leguminosas	Medioambientales	Biodiversidad, económicos	+	++
Plantación de cultivos leñosos/herbáceos	Económicos	Económicos	-	+

Tabla 4. Descripción causa-efecto de la implementación de las distintas medidas. Rango: (-1/3)

El impacto y el cálculo del coste individual de implementación por medidas se resume en la Tabla 5. La implementación de las nuevas medidas puede llevar consigo un decrecimiento del rendimiento productivo del cultivo, un incremento de los costes de producción, ambas posibilidades al mismo tiempo o ninguna de las dos. Además, como se ha explicado con anterioridad, se hace necesaria la utilización de un libro contable en la explotación para llevar control de los gastos en los que se incurre. De igual forma, la obtención de subvenciones públicas obliga a la realización de controles y análisis basados en indicadores para comprobar que realmente se estén reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. En algunos casos, la implementación de estas medidas necesitará del establecimiento de una serie de incentivos para que la superficie de aplicación sea de gran relevancia.

Producción de cereal	Disminución de la	Nueva gestión	Estimación del coste
-----------------------------	--------------------------	----------------------	-----------------------------

	producción (%)		de implementación sin incentivos (€/ha)
Cubiertas vegetales	Ninguna a largo plazo (1% por competencia)	Dificulta el control de adventicias, de enfermedades y de plagas y la implantación del cultivo siguiente Siembra y mantenimiento de las cubiertas vegetales	54
Laboreo reducido	7	Reducción del uso de maquinaria respecto al laboreo convencional	8
Utilización de restos de cosecha	-	Incremento del coste de manejo, gestión y maquinaria	44
Optimización del uso de fertilizantes	10	Cambios en los tipos tiempos y cantidades de fertilización implican alteraciones en el manejo del cultivo	74
Rotación de cultivos	Inducción de algunos cultivos (5-10%)	Incremento de la capacitación y las aptitudes implica incremento de costes. Menor rentabilidad por introducción de nuevos cultivos	56
Asociación con leguminosas	Debe aumentar la producción a largo plazo	Siembra y mantenimiento de las leguminosas Complica el manejo y necesita separación en la cosecha	43
Plantación de cultivos leñosos	-	Plantación y mantenimiento de los nuevos cultivos leñosos	45
Producción de olivar	Disminución de la producción (%)	Nueva gestión	Estimación del coste de implementación sin incentivos (€/ha))
Cubiertas vegetales	Ninguna a largo plazo (1% por competencia)	Siega en primavera Siembra en otoño Dificulta la gestión de los recursos hídricos	71
Laboreo reducido	7	Reducción del uso de maquinaria respecto al laboreo convencional	118
Utilización de restos de poda	-	Incremento del coste de manejo y gestión	72

Asociación con leguminosas	Debe aumentar la producción a largo plazo	Siembra y mantenimiento de las leguminosas Complica el manejo y necesita capacitación	75
Optimización del uso de fertilizantes	10	Cambios en los tiempos/cantidades de fertilización implican alteraciones en el desarrollo de la cosecha	146

Tabla 5. Impacto y coste individual de implementación por medidas

Son numerosos los beneficios de carácter medioambiental que acarrea la implantación de estas medidas. Incremento de la biodiversidad, reducción de la erosión del suelo, incremento de la precipitación efectiva, disminución de la pérdida de minerales, etc. son algunos ejemplos. La Tabla 6 resume los posibles efectos de la implantación de las medidas. Sin embargo, en ocasiones, la implantación de estas medidas puede acarrear ciertos problemas medioambientales como por ejemplo el incremento del gasto energético que supone el proceso de picado e incorporación al suelo de los restos de cosecha o poda o el potencial contaminante de una mala gestión de los estiércoles en producción animal entre otros. Los posibles efectos negativos de la implantación de las medidas se resumen en la Tabla 7.

Cereales en Castilla la Mancha	Posibles efectos sobre el medio ambiente	Otros posibles efectos
Cubiertas vegetales	Captación de CO ₂ Biodiversidad	Freno de la erosión Reducción o incremento de plagas específicas y adventicias
Laboreo reducido	Captación del CO ₂ Reducen procesos de oxidación y en consecuencia la liberación de CO ₂ a la atmósfera	Aumento de lluvia efectiva (menos escorrentía) Menor erosión del suelo
Utilización de restos de cosecha	Captación de CO ₂ Menor contaminación	Ciclo cerrado (disminuyen los desechos con buena gestión) Menor coste de transporte y ahorro energético Coste energético de picar la paja e incorporarla. Ahorro de la energía necesaria en la producción de agroquímicos
Optimización del uso de fertilizantes	Menor contaminación Frena la pérdida de minerales (lixiviación) mediante calendarios adecuados	Ciclo cerrado (se aprovechan residuos de las explotaciones) Menor coste de transporte Menor utilización de fertilizantes Ahorro energético Mejor calidad del agua Ahorro de la energía necesaria en la producción de agroquímicos
Rotación de cultivos	Incremento de la biodiversidad Mayor aprovechamiento de nutrientes en suelo	Menores plagas específicas : Control de plagas (policultivo) Menor agotamiento de la fertilidad del suelo Fijación de N atmosférico Ayuda a reducir las pérdidas de N en suelo Aumento de biomasa subterránea (capacidad de retención de C) Ahorro energético
Asociación con leguminosas	Aumento de C en suelo y de N atmosférico por el cultivo (<i>rizobium</i>)	Ahorro energético (no uso de fertilizantes N de síntesis) Menor contaminación de aguas y de la atmósfera
Plantación de cultivos leñosos	Aumento de CO ₂ Biodiversidad	Frena la erosión del suelo Conservación del paisaje

		Ciclo cerrado de energía
Olivar en Andalucía	Posibles efectos sobre el medio ambiente	Otros posibles efectos
Cubiertas vegetales	Captación de CO ₂ Biodiversidad	Freno de la erosión Reducción de plagas Reducción de la contaminación de las aguas por herbicidas Menor problema de lavado de sales
Laboreo reducido	Captación del CO ₂ Reducen procesos de oxidación y en consecuencia la liberación de CO ₂ a la atmósfera	Aumento de lluvia efectiva (menos escorrentía) Menor erosión del suelo
Utilización de restos de poda	Captación de CO ₂ Menor contaminación	Ciclo cerrado (disminuyen los desechos con buena gestión) Menor coste de transporte y ahorro energético Mayor gasto energético de picarlos e incorporarlos Ahorro de la energía necesaria en la producción de agroquímicos
Asociación con leguminosas	Aumento de C en suelo y de N atmosférico por el cultivo (<i>rizobium</i>)	Ahorro energético (no uso de fertilizantes N de síntesis) Menor contaminación de aguas y de la atmósfera
Optimización del uso de fertilizantes	Menor contaminación Frena la pérdida de minerales (lixiviación) mediante calendarios adecuados	Ciclo cerrado (se aprovechan residuos de las explotaciones) Menor coste de transporte Ahorro energético Mejor calidad del agua Ahorro de la energía necesaria en la producción de agroquímicos

Tabla 6. Posibles efectos de la implantación de las medidas

Cereales en Castilla la Mancha	Efectos negativos sobre el medio ambiente
Cubiertas vegetales	Ninguno
Laboreo reducido	Plagas, enfermedades, proliferación de adventicias
Utilización de restos de cosecha	Ninguno
Optimización del uso de fertilizantes	Abono animal puede ser altamente contaminante (si no hay buena gestión y almacenaje)
Rotación de cultivos	Ninguno
Asociación con leguminosas	Ninguno
Plantación de cultivos leñosos	Ninguno
Olivar en Andalucía	Efectos negativos sobre el medio ambiente
Cubiertas vegetales	Ninguno
Laboreo reducido	Plagas asociadas a rastrojo
Utilización de restos de poda	Ninguno
Asociación con leguminosas	Ninguno
Optimización del uso de fertilizantes	Abono animal puede ser altamente contaminante (si no hay buena gestión y almacenaje)

Tabla 7.

Posibles

efectos negativos de la implantación de las medidas

Las barreras para la implementación de las medidas se muestran en la Tabla 8. La rentabilidad económica, la condicionalidad y el medio ambiente son las razones más importantes que llevan a los agricultores y ganaderos a tomar la decisión de implantar o desarrollar la mayor parte de las medidas. El creciente precio de los medios de producción y el estancamiento de los precios percibidos por los productos que comercializan hace que muchos productores se planteen la búsqueda de nuevas técnicas de producción más baratas.

Cereal	Sociales	Políticas	Técnicos	Económicos	Capacitación	TOTAL
Cubiertas vegetales	0	0	1	1	0	2
Laboreo reducido	1	0	0,5	0	1	2,5
Utilización de restos de cosecha	1	1	1	1	0	4
Optimización del uso de fertilizantes	1	0	1	1	1	4
Rotación de cultivos	0	1	1	1	1	4
Asociación con leguminosas	1	1	1	1	1	5
Plantación de cultivos leñosos	1	1	1	1	1	5
Olivar	Sociales	Políticas	Técnicos	Económicos	Capacitación	TOTAL
Cubiertas vegetales	0	0	1	1	1	3
Laboreo reducido	0	0	0,5	0	0,5	1
Utilización de restos de poda	1	1	1	1	1	5
Asociación con leguminosas	0	0	1	1	1	3
Optimización del uso de fertilizantes	1	0	1	1	1	4

Tabla 8. Barreras para la implementación de las nuevas medidas (Rango 0 -1)

0: No hay barreras; 0,5: Existen barreras dependiendo de la intensidad 1: Existencia de barreras

En líneas generales, se puede afirmar que, dentro las normativas actuales tienen perfecta cabida las medidas seleccionadas en forma de compromisos agroambientales o como condicionalidad, si bien conviene tener en cuenta las limitaciones de los presupuestos de la Política Agraria Común. Algunas medidas reflejadas en los reglamentos de aplicación de la condicionalidad como la optimización en el uso de fertilizantes químicos, son plenamente coincidentes con las que se barajan en este estudio y en el reglamento de agricultura ecológica. Todas estas medidas ejercen una influencia positiva clara en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en el almacenamiento de C en el suelo.

Combatir la erosión de los suelos, conservar la biodiversidad, reducir la contaminación y la protección del paisaje son objetivos comunes que hacen que la implementación de las medidas descritas sea perfectamente compatible con la aplicación de estas normativas. No existe en la actualidad ningún instrumento de apoyo para los

productores que desarrollan actuaciones enfocadas a la protección del clima. Sin embargo, algunos requisitos de las medidas agroambientales y la condicionalidad cubren las sugerencias de las medidas seleccionadas. Tabla 9. Todas las medidas seleccionadas podrían ser implementadas en la agricultura ecológica de nuestro país. Sin embargo, las medidas relacionadas con el laboreo, la optimización del uso de fertilizantes y las cubiertas vegetales propias de la producción ecológica, serían las que, a la vista de los resultados, habría que apoyar principalmente.

Cereales en Castilla la Mancha	¿Afectadas por alguna regulación de la condicionalidad?	¿Afectadas por las medidas agroambientales?	Primas para las medidas agroambientales para el cereal ecológico existentes en la actualidad Total: 287 €/ha
Cubiertas vegetales	+	+	46 €/ha
Laboreo reducido	+		
Utilización de restos de cosecha		+	
Optimización del uso de fertilizantes		+	100 €/ha
Rotación de cultivos		+	
Asociación con leguminosas		+	
Plantación de cultivos leñosos	+	+	
Olivar en Andalucía	¿Afectadas por alguna regulación de la condicionalidad?	¿Afectadas por las medidas agroambientales?	Primas para las medidas agroambientales existentes en la actualidad Total: 270 – 370 €/ha
Cubiertas vegetales		+	26 €/ha
Laboreo reducido	+		
Utilización de restos de poda		+	
Asociación con leguminosas		+	36 €/ha
Optimización del uso de fertilizantes		+	38 €/ha

Tabla 9. Compatibilidad de las medidas con la condicionalidad y las medidas agroambientales

CONCLUSIONES

Son numerosas las actuaciones que sobre las prácticas de producción agrícolas y ganaderas se pueden realizar con el objetivo de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Empezando por técnicas específicamente agrícolas como las citadas anteriormente, pasando por la gestión de los estiércoles y los pastos en ganadería, y terminando por el ahorro de combustible inherente a las distintas actividades ligadas a la producción, son numerosas las estrategias de que pueden ser desarrolladas para la mitigación del cambio climático a través de la actividad agraria.

Los criterios principales para la selección de las distintas medidas en el análisis han sido tres principalmente: el potencial mitigador, las posibles barreras de implementación y el coste económico de puesta en práctica. Bajo estos criterios, dentro de las estrategias específicas de la producción agrícola, y más específicamente

las relativas a la producción de cereal son el laboreo reducido, la optimización en el uso de fertilizantes y la instalación de cubiertas vegetales las que parecen más apropiadas, si bien conviene tener en cuenta que los efectos de las cubiertas vegetales tiene una limitación temporal importante.

En el caso del olivar, teniendo en cuenta que este cultivo posee ya de por sí un gran potencial de fijación de nutrientes en el suelo, conviene destacar que las medidas más apropiadas para ser implementadas a la vista de los resultados del análisis son el laboreo reducido, la asociación con leguminosas y la instalación de cubiertas vegetales aun con la misma limitación comentada para el caso de la producción de cereal. Estas medidas, incluidas todas ellas dentro de la producción ecológica, pueden desempeñar una gran labor en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera si se consigue un nivel de implementación elevado en nuestra agricultura.

Sin embargo, no son pocas las barreras que se han de tener en cuenta para su implementación, las cuales son principalmente de carácter técnico y formativo capacitación. Se hace necesaria una mayor formación en entre los agricultores, unos buenos incentivos para conseguir una gran superficie de aplicación y, sobre todo, que se produzcan una serie de cambios paulatinos en la mentalidad de los productores, principales actores del proceso.

Tal y como se ha analizado, en muchos de los casos, la implementación de algunas de estas medidas puede traer otras consecuencias negativas para la producción inicial, bien sean de carácter estrictamente productivo (rendimientos, plagas, enfermedades, etc.) o bien sean de carácter económico (aumento de los costes, rentabilidad). Es por este hecho que se hacen necesarios una serie de apoyos o incentivos que acompañen a los procesos formativos dirigidos a productores, es decir, parecen más idóneas las políticas de apoyo mediante incentivos a dichas técnicas, que políticas coactivas que obliguen a su cumplimiento interiorizando el coste ambiental en la cuenta de resultados del agricultor.

Este sentido, cabe sugerir la utilización del artículo 68 de la propuesta de reglamento de la Comisión Europea para el chequeo médico de la PAC presentado en 2008 para incentivar estas medidas enfocadas a la mitigación del cambio climático. Además, el apoyo a estas medidas puede venir mediante la asignación de los fondos adicionales de la modulación destinados al combatir el cambio climático mediante compromisos agroambientales.

La medida agroambiental de la agricultura ecológica parece una vía muy interesante para conseguir el grado de implementación deseado de todas estas técnicas teniendo en cuenta su encaje dentro de las normativas actuales relativas a la condicionalidad y a los compromisos agroambientales fijados por la Unión Europea. Además, la inclusión de estos compromisos en todas las medidas agroambientales podría contribuir enormemente a alcanzar los objetivos marcados en cuanto a reducción de las emisiones de GEIs provenientes de la actividad agraria, por lo que se podría valorar incluso la necesidad de cambiar el sistema de cálculo de las primas y reconsiderar los compromisos en dicha medida agroambiental, ya que, como se ha podido observar, algunas de estas técnicas no están consideradas en el cálculo de la prima final.

BIBLIOGRAFÍA

- CE, 2003. Reg. 1782/2003 de disposiciones del régimen de ayudas directas de la PAC.
- CE, 2004. Reg. 796/2004 sobre condicionalidad de las ayudas de la PAC.
- COM, 2008. Doc 306/4. Propuesta de reglamento del consejo en el marco del chequeo médico de la PAC.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group. II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Chapter 12 and Summary for Policymakers.
- Junta de Andalucía, 2007. Orden del 20 de Noviembre de 2007 por el que se establecen las medidas agroambientales.
- Junta de Andalucía, 2008. Programa de Desarrollo Rural de Andalucía para el periodo 2007-2013.
- Junta de Castilla la Mancha, 2008. Programa de Desarrollo Rural de Castilla la Mancha para el periodo 2007-2013.
- Junta de Castilla la Mancha, 2008. Orden del 10 de Enero de 2008 por el que se establecen las medidas agroambientales.
- Kurkalova, L., Kling, C.L., Zhao, J. 2004. Multiple benefits of carbon friendly agricultural practices: empirical assesment of conservation tillage. Environ. Manage. 33, 519-527.
- MAPA, 2002. Real Decreto 1322/2002 de aplicación de la condicionalidad de la PAC.
- MAPA, 2007. Real Decreto 1470/2007 de aplicación de las ayudas directas de la PAC.
- Medina, F. La gestión del riesgo y las políticas de cambio climático en la agricultura ecológica. Tesis Doctoral. En elaboración.
- PESETA, 2008. (Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis). En elaboración.
- PICCMAT, 2008. (Policy Incentives for Climate Change Mitigation Agricultural Techniques). European Commission, DG Agriculture, Specific Support Action. En elaboración.
- Schneider, U. A. y McCarl, B. A. 2006. Implications of a carbon based energy tax for US agricultura. Agric. Res. Econ. Rev. 34, 264-278.
- SEAE, 2006. Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. Informe técnico.
- Smith, P., 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. Eur. J. Agron. 20, 229–236
- Smith, P.et al. 2007a. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of Royal Society. 789-813.
- Smith, P.et al. 2007b. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. Agriculture Ecosystems and Environment N° 118.

VIII Congreso SEAE: Cambio climático, biodiversidad y desarrollo rural sostenible

PRODUCTIVIDAD ENERGETICA DE CULTIVOS HERBACEOS, ESTUDIO COMPARATIVO DE MANEJOS DE AGRICULTURAS CONVENCIONAL, DE CONSERVACIÓN Y ECOLOGICA

C Lacasta, *R Meco

CSIC. Centro de Ciencias Medioambientales. Finca Experimental "La Higuera" 45530 Santa Olalla. Toledo. España: csic@infonegocio.com, * Servicio de investigación Agraria. Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha, C/ Pintor Matías Moreno, 4. 45071 Toledo, España, ramonmeco@jccm.es

RESUMEN

La viabilidad de un sistema de producción agrícola, no depende únicamente de sus rendimientos, sino especialmente de su eficiencia en la utilización de los recursos disponibles. Actualmente la producción agrícola depende en gran manera del consumo de energía no renovable, a través de los fertilizantes, combustibles fósiles, fitosanitarios y maquinaria.

El objetivo de la Agricultura, en su vertiente económica, es la obtención de beneficios, pero en los países desarrollados está muy mediatizado debido a las subvenciones tanto directas como indirectas. El balance energético, al realizarse al margen de las ayudas, pone al descubierto los manejos más eficientes y por tanto más recomendables para cada región agroclimática.

En este trabajo se comparan tres modelos de producción que se desarrollan en los ambientes semiáridos españoles y que cuentan con objetivos y medios de producción diferentes. La agricultura convencional, cuyo principal objetivo es conseguir la máxima producción empleando todos los medios necesarios, la agricultura de conservación, que tiene como objetivo añadido la conservación del suelo, y la agricultura ecológica, que los amplía este aspecto a todos los recursos naturales, por ser los valedores de la autorregulación de los agrosistemas y no utilizar insumos de síntesis, causantes de una buena parte del deterioro medioambiental.

El estudio se basa en los resultados obtenidos en la Finca Experimental "La Higuera" en Santa Olalla (Toledo, España), sobre experimentos de larga duración (15 años), con los métodos mencionados. Se analizan cuatro rotaciones de cultivo: cebada-barbecho, cebada-veza, cebada-girasol y cebada-cebada (monocultivo); calculándose su productividad energética. Los resultados concluyen que el monocultivo es poco viable, en los agrosistemas de cereales de ambiente semiáridos de la submeseta sur. La baja eficiencia energética de las agriculturas convencional y de conservación, es motivada por el uso de agroquímicos, que suponen más del 50% de los costes energéticos. Las condiciones ambientales con déficits hídricos frecuentes, que se verán aumentados por el cambio climático, no traducen este coste energético en aumentos equivalentes en la producción, debido a la baja eficiencia de los fertilizantes.

La agricultura ecológica, es la que mejor se adapta a las condiciones ambientales actuales y futuras de la mayoría de los secanos españoles, duplicando la productividad energética de las agriculturas con agroquímicos.

Palabras clave: Rendimiento cultivos, rotaciones, monocultivo, fertilización, secano.

INTRODUCCIÓN

El análisis de los flujos de energía, alcanzó un desarrollo considerable a comienzos de los años setenta del siglo XX. La razón, no fue otra que la incidencia tan negativa que tuvo, en la economía de los países desarrollados y el aumento de los precios del petróleo, ya que este combustible fósil era y sigue siendo, la principal fuente de energía con que cuenta el sistema económico actual. El análisis energético consiste en identificar y cuantificar las cantidades de energía asociadas a los factores que intervienen en un determinado proceso de producción (Hernanz y Sánchez-Girón, 1997).

A partir de esas fechas, la agricultura cerealística de secano va perdiendo competitividad y actualmente, sólo pervive gracias a la Política Agraria Comunitaria. La realidad es que más del 30% de las rentas agrarias, netas de una explotación, proceden de las subvenciones comunitarias y en el secano más del 50% (Mate, 1999).

La viabilidad de un sistema de producción no depende únicamente de sus niveles de rendimientos, sino especialmente de su eficiencia en la utilización de los recursos disponibles. En los momentos actuales la agricultura depende intensamente del consumo de energía no renovable, a través de los fertilizantes (50-60%), los combustibles fósiles (25-40%), los productos fitosanitarios (8%) y la maquinaria (2%) (Fernández-Quintanilla, 1999).

El balance energético, al realizarse al margen de las ayudas, pone al descubierto los manejos más eficientes y por tanto más recomendables para cada región agroclimática. En este trabajo se comparan tres modelos de producción que se desarrollan en los ambientes semiáridos españoles y que cuentan con objetivos y medios de producción diferentes.

La Agricultura Convencional: Caracterizada de por utilizar todos los medios técnicos desarrollados en los últimos cincuenta años y presenta las siguientes limitaciones: Escasa rentabilidad, altas tasas de erosión, disminución alarmante del contenido en materia orgánica, pérdida de elementos fertilizantes solubles y graves implicaciones en procesos contaminantes en suelos y aguas. Esto, unido a una escasa biodiversidad al haber sido eliminados gran parte de los habitats, tanto de la flora como de la fauna autóctona, los sitúa en un proceso de degradación que exige cambios urgentes en su manejo si se pretende su perdurabilidad.

Para conseguir estos fines, en los últimos años, se han propuesto manejos que, manteniendo la productividad de los sistemas, no comprometan su sostenibilidad, agrupándose en las conocidas como Agriculturas de Conservación y Ecológica.

La Agricultura de Conservación: Coincidiendo con lo indicado en el Real Decreto 2352/2004, Fernández-Quintanilla (1997), considera la Agricultura de Conservación como una serie de prácticas agronómicas que permiten un manejo del suelo que altera lo menos posible su composición, estructura o biodiversidad, defendiéndolo de la erosión y degradación. Numerosos autores estiman, que el sistema de no-laboreo o siembra directa (SD), como el mejor exponente.

La Agricultura Ecológica: Basada en el conocimiento campesino y tecnologías modernas de bajos insumos para diversificar la producción (Altieri, 1999) Incorpora principios biológicos y recursos locales, proporcionando a los pequeños agricultores una forma ambientalmente sólida y rentable de intensificar la producción en áreas marginales como los secanos españoles.

MATERIAL Y MÉTODOS

Uno de los parámetros que se utilizan para comparar diferentes procesos productivos es la Eficiencia Energética (EE), definido como el cociente entre la energía calorífica contenida en el producto final y la requerida para su obtención. Esta variable está siendo muy criticada por algunos analistas que consideran que su utilización sólo tiene sentido en economías de subsistencia, pero en las sociedades más evolucionadas e interdependientes, el valor añadido del producto puede llegar a ser superior a su valor energético, proponiendo el termino de Productividad Energética (PE) como la relación entre el valor de una unidad de producto, en términos energéticos y la energía requerida para su obtención. En otras palabras la EE, indica la cantidad de energía que se obtiene en el proceso por cada unidad energética empleada y la PE, indica la energía que se necesita para producir una unidad producto. Ambas están relacionadas, $PE=1/EE$ y se miden en megajulios (MJ) (Hernanz y Sánchez-Girón, 1997). Megajulio o megajoule (MJ) = Unidad de energía equivalente a 239 kcal, 1 kcal=0,04184 MJ, 1 kg de petróleo = 43,5 MJ.

Los resultados se han obtenido de cuatro experimentos de larga duración, ubicados en la Finca Experimental "La Higuera" en Santa Olalla (Toledo), tres de ellos están sometidos a técnicas de Agricultura de Conservación y Convencional, con diferentes objetivos; en uno se estudian diferentes labores con rotaciones y monocultivo, en otro se estudian diferentes barbechos y en el tercero diferentes rotaciones de cultivo. El cuarto es de Agricultura Ecológica, en el que se estudian rotaciones bianuales de cereal con diferentes cultivos. La descripción de los experimentos se puede consultar en, Lacasta *et al.* (2004), Lacasta, Meco y Maire (2005), Lacasta (2005), Meco y Lacasta (2005), Meco y Lacasta (2006).

Los suelos sobre los que se han desarrollado los experimentos son suelos con características vérticas, formados por arcillas de carácter expansivo con gran capacidad de retención hídrica. Las características químicas son: pH 7, materia orgánica 1,4 %, 20ppm de fósforo y 180ppm de potasio.

Las variables estudiadas han sido, 3 métodos productivos y 4 rotaciones de cultivo, con tres repeticiones. Los métodos productivos son: Agricultura Convencional, laboreo con vertedera con fertilización y herbicidas; Agricultura de Conservación con no laboreo (NL), con fertilización y herbicidas; Agricultura Ecológica, con laboreo de cultivador. Las rotaciones de cultivo son: Cebada-Barbecho (C-B), Cebada-Veza forraje (C-VF), Cebada-Girasol (C-GIR), Cebada-Cebada (C-C). Los resultados han sido sometidos a un análisis de la varianza y las diferencias entre tratamientos, separadas por medio del test de Tukey a un nivel de probabilidad $P < 0,05$.

Las rotaciones en Agricultura Convencional y de Conservación, el cereal se fertilizó con abonos complejos antes de la siembra y nitrato amónico cálcico en el inicio del ahijado, obteniéndose la formula 90-60-60. El girasol y la veza se abonó en sementera con la formula 20-40-20. El cálculo de la PE, de estas dos agriculturas, se realizó considerando, si la paja del cereal se recoge y se añade como productividad energética o si no se recogiera y se aportara al sistema como se hace en Agricultura Ecológica. Esta variación en el manejo no cambia los resultados de producción de grano, pero si mejora las cualidades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Lacasta y Meco, 2005). Para su cálculo se ha empleado la relación media de 40% de grano, 30% de paja recogida y 30% de que se queda como rastrojo. Estas proporciones se acordaron en función del estudio de parámetros agronómicos de cereales realizado por Lacasta y Meco (2004). La paja del girasol se incorporó al suelo.

En Agricultura Ecológica, la fertilización de las rotaciones se basa en la fijación de nitrógeno del cultivo de leguminosa, cuando existe, y en los residuos de cosecha. La paja no se añade como productividad energética ya que se emplea como fertilizante. No se empleó ninguna escarda en las rotaciones ecológicas.

Para el cálculo de los costes energéticos se han utilizado los datos obtenidos por Fernández-Quintanilla y Gómez Fernández-Montes (1984), Hernanz *et al.* (1992) y Hernanz y Sánchez-Girón (1997) basados en procesos, métodos y cálculos obtenidos por diferentes autores (Cuadro 1). El consumo de combustible se ha obtenido del estudio realizado por Boto, Pastrana y Suárez de Cepeda (2005). Los aperos utilizados en los experimentos se indican en los cuadros, 2, 3 y 4.

Cuadro 1. Energía asociada a la utilización de distintos aperos y fungible

MAQUINARIA	Tiempo h/ha	Energía asociada apero MJ/ha	Consumos combustible l/ha	FUNGIBLE	Energía asociada MJ/kg y MJ/l
Vertedera	2	165,2	26	Semillas	
Cultivador	1	60,0	8	Trigo	12,6
Grada de disco	1	70,4	9	Cebada	13,9
Sembradora	1	81,2	7	Veza heno	9,0
Siembradora	1,5	165,0	11	1. Girasol	4,0
SD				2. Paja	14
Abonadora	0,5	45,0	2	3. Fertilizantes	
Pulverizador	0,5	47,1	2	Complejo	10,4
Desbrozadora	0,5	47,6	9	NO ₃ 30%	26,8
Cosechadora	0,5	27,0	4.	Herbicidas	
			5		
Segadora	0,5	53,0	7,5	Glifosato	450
Rastrillo	0,5	8,4	4	5. Postsiembra	140
Empacadora	1	48,4	6.	Combustible	47,8
			0		

Cuadro 2. Agricultura Convencional: aperos y material fungible empleado por hectárea y rotación.

Rotaciones	Aperos utilizados (entre paréntesis, número de pases)	Fungibles (2 años)
C-B	Vertedera (1), Cultivador (3), Pulverizador (1) sembradora (1) abonadora (2), cosechadora (1), empacadora (1)	Semilla: Cebada: 130 kg Complejo: 400 kg, Nitrato 30%: 200 kg Herbicida: 2 l
C-VF	Vertedera (2), Cultivador (4), Sembradora (2), cosechadora (1), abonadora (3), pulverizador (1), segadora (1), rastrillo (1), empacadora (2)	Semilla: Cebada: 130 kg, Veza: 100 kg Complejo: 600 kg, Nitrato 30%: 200 kg Herbicida: 2 l
C-GIR	Vertedera (2), Cultivador (4), Sembradora (2), abonadora (3), pulverizador (2), cosechadora (2), empacadora (1)	Semilla: Cebada: 130 kg, Girasol: 3 kg Complejo: 800 kg, Nitrato 30%: 400 kg Herbicida: 4 l

C-C	Vertedera (2), Cultivador (4), Sembradora (2), abonadora (4), pulverizador (2), cosechadora (2), empacadora (2)	Semilla: Cebada: 260 kg Complejo: 800 kg, Nitrato 30%: 400 kg Herbicida: 4 l
-----	---	--

Cuadro 3. Agricultura de Conservación-siembra directa (SD): aperos y material fungible empleado por hectárea y rotación

Rotaciones	Aperos utilizados (entre paréntesis, número de pases)	Fungibles (2 años)
C-B	Pulverizador (4), sembradora SD (1), abonadora (2), cosechadora (1), empacadora (1)	Semilla: Cebada: 130 kg Complejo: 400 kg, Nitrato 30%: 200 kg Herbicidas: 5 l/Glifosato +2 l/postemerg.
C-VF	Sembradora SD (2), cosechadora (1), abonadora (3), pulverizador (3), segadora (1), rastrillo (1), empacadora (2)	Semilla: Cebada: 130 kg, Veza: 100 kg Complejo: 600 kg, Nitrato 30%: 200 kg Herbicidas: 3 l/Glifosato + 2 l/postemerg.
C-GIR	Sembradora SD (2), abonadora (3), pulverizador (4), cosechadora (2), empacadora (1)	Semilla: Cebada: 130 kg, Girasol: 3 kg Complejo: 800 kg, Nitrato 30%: 400 kg Herbicidas: 3 l/Glifosato + 4 l/ postemerg.
C-C	Sembradora SD (2), abonadora (4), pulverizador (4), cosechadora (2), empacadora (2)	Semilla: Cebada: 260 kg Complejo: 800 kg, Nitrato 30%: 400 kg Herbicidas: 3 l/Glifosato + 4 l/ postemerg.

Cuadro 4. Agricultura Ecológica: aperos y material fungible empleado por hectárea y rotación.

Rotaciones	Aperos utilizados (entre paréntesis, número de pases)	Fungibles (2 años)
C-B	Gradas (1), cultivador (5), sembradora (1), cosechadora (1)	Semilla: Cebada: 130 kg
C-VF	Gradas (2), cultivador (4), sembradora (2), cosechadora (1), desbrozador (1), segadora (1), rastrillo (1), empacadora (1)	Semilla: Cebada 130 kg, Veza 100 kg
C-GIR	Gradas (2), cultivador (6), sembradora (2), cosechadora (2), desbrozador (1)	Semilla: Cebada 130 kg, Girasol 3 kg
C-C	Gradas (2), cultivador (4), sembradora (2), cosechadora (2), desbrozador (1)	Semilla: Cebada 260 kg,

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Productividad vegetal:

Cuando se observa los datos medios de los 15 años, de forma conjunta, la producción de cebada (cuadros 5, 6 y 7 y la figura 1), se comprueba que la producción en todas las agriculturas, la cebada en rotación produce más de un 50 % que la cebada en monocultivo y que incluso la cebada en rotación y manejo ecológico produce más que cualquier monocultivo de cebada con agroquímicos, resultados ya comentados por los mismos autores (Lacasta, 2005 y Meco y Lacasta, 2006). En Agricultura de Conservación no hay diferencias entre utilizar una u otra rotación para producir cebada, en cambio, tanto la Agricultura Convencional como la Ecológica es la rotación con barbecho la que más cebada produce y con girasol, la que menos.

La Agricultura Convencional es la que produce más cebada y la Agricultura Ecológica, la que menos, aunque su producción se encuentra en los valores medios de la zona (2.000 kg/ha). En la producción de veza heno (cuadro 8) las diferencias son mucho menores, sólo un 18 % en los valores medios entre la agricultura con agroquímicos y la Agricultura Ecológica. Al observar los datos de los 15 años, esta diferencia se debe a dos años 96-97 y 99-00, donde las condiciones meteorológicas fueron propicias para la eficiencia de la fertilización química. En la producción de girasol (cuadro 8) no hay diferencias entre las tres agriculturas, ya que por el hecho de desarrollarse el cultivo en verano, la fertilización química es muy poco eficiente, sólo un año (02-03) de los 15, se pudo apreciar el efecto de la fertilización.

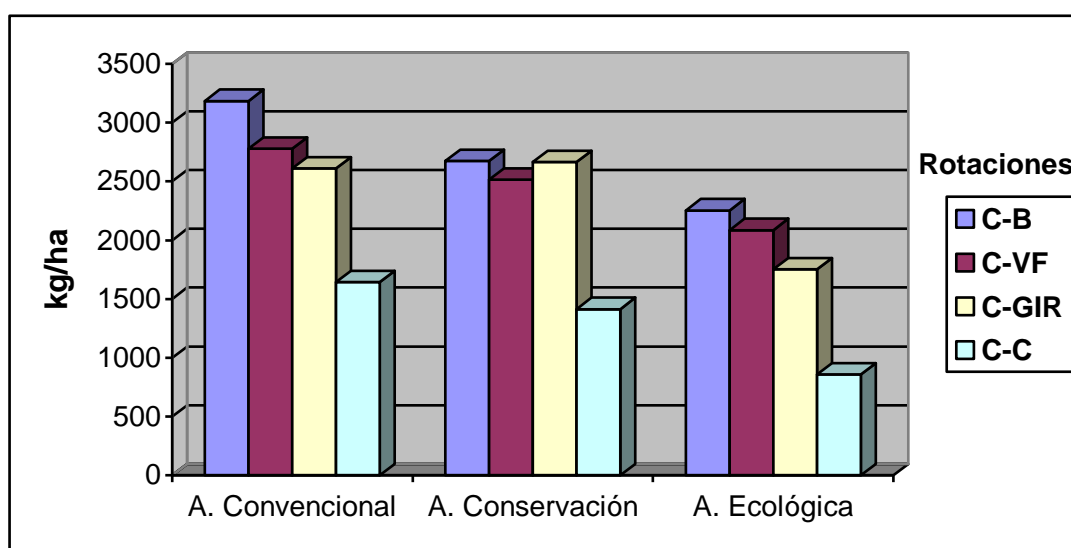


Fig. 1. Valores medios de 15 años de producción de cebada en kg/ha, en diferentes rotaciones considerando los tres manejos agrícolas.

Cuadro 5. Agricultura Convencional: producción de cebada en kg/ha en diferentes rotaciones y años.

ANOS	C-B	C-VF	C-GIR	C-C	Efecto Rotación
93-94	3.263 a	2.232 b	2.439 b	3.807 a	***
94-95	443 a	20 b	10 b	80 b	***
95-96	2.543 b	4.186 a	2.973 b	2.644 b	***
96-97	3.987 a	3.623 a	2.583 b	2.392 b	***
97-98	2.976 b	4.091 a	2.631 b	1.693 d	***
98-99	4.410 a	602 b	43 c	392 b	***
99-00	4.235 a	3.804 a	4.046 a	2.806 b	***
00-01	1.713 a	713 b	1.290 a	353 b	***
01-02	3.204 b	4.388 a	4.060 a	3.486 b	***
02-03	2.743 c	3.663 b	4.583 a	915 d	***
03-04	3.510 c	4.721 b	5.404 a	894 d	***
04-05	2.610 a	762 b	792 b	440 b	***
05-06	2.896 a	2.846 a	3.046 a	2.062 b	***
06-07	6.081 a	3.527 b	3.500 b	2.218 c	***
07-08	2.572 a	2.492 a	1.779 b	450 c	***

7.				
ED				
IA	3.185	2.777	2.611	1.642
8.	194	169	159	100

Los valores seguidos por letras distintas en una misma fila difieren significativamente $P<0,05$. Los valores en negrita indican la rotación más productiva en ese año. (***) diferencias significativas al $P<0,01$

Cuadro 6. Agricultura de Conservación-siembra directa: producción de cebada en kg/ha en diferentes rotaciones y años.

AÑOS	C-B	C-VF	C-GIR	C-C	Efecto Rotación
93-94	2.958 a	2.317 b	3.029 a	3.390 a	***
94-95	863 a	27 c	77 c	168 b	***
95-96	1.767 c	3.957 a	3.325 b	2.178 c	***
96-97	3.786 a	2.137 b	2.117 b	667 d	***
97-98	2.840 b	3.265 a	2.717 b	1.663 c	***
98-99	2.910 a	735 b	153 c	1.098 b	***
99-00	4.546 a	4.187 a	4.409 a	3.215 b	***
00-01	1.609 a	634 b	969 b	696 b	***
01-02	3.178 b	4.548 a	4.496 a	3.040 b	***
02-03	2.200 c	2.882 b	4.804 a	458 d	***
03-04	1.908 c	3.948 b	5.240 a	1.840 c	***
04-05	1.144 a	599 b	454 b	366 b	***
05-06	2.833 a	3.108 a	2.846 a	932 b	***
06-07	5.769 a	2.900 b	3.696 b	1.160 c	***
07-08	1.815 ab	2.495 a	1.622 b	337 c	***
9.					
ED					
IA	2.675	2.516	2.664	1.414	
10.	189	178	188	100	

Los valores seguidos por letras distintas en una misma fila difieren significativamente $P<0,05$. Los valores en negrita indican la rotación más productiva en ese año. (***) diferencias significativas al $P<0,01$

Cuadro 7. Agricultura Ecológica: producción de cebada en kg/ha en diferentes rotaciones y años.

AÑOS	ROTACIONES				Efecto Rotación
	C-B	C-VF	C-GIR	C-C	
93-94	3.056 a	3.092 a	3.136 a	1.454 b	***
94-95	949 a	250 c	865 a	63 c	***
95-96	3.195 a	2.684 a	2.917 a	1.995 b	***
96-97	2.494 a	2.094 a	1.440 b	1.506 b	***
97-98	1.600 a	1.589 a	1.528 a	435 b	***
98-99	2.717 a	1.996 b	517 d	1.071 c	***
99-00	1.763 bc	2.400 ab	2.531 a	1.319 c	***
00-01	981 a	755 b	513 c	58 d	***
01-02	2.058 b	2.774 a	1.366 c	2.219 b	***
02-03	3.518 a	2.468 a	2.818 a	124 b	***
03-04	2.593 a	2.811 a	2.667 a	372 b	***
04-05	1.378 a	1.614 a	774 b	72 c	***
05-06	3.608 a	2.358 b	2.338 b	1.285 c	***
06-07	2.701 a	2.945 a	2.508 a	823 b	***

07-08	1.205 a	1.467 a	385 b	41 c	***
11. ED					
IA	2.254	2.086	1.753	856	
12.	263	244	205	100	

Los valores seguidos por letras distintas en una misma fila difieren significativamente $P < 0,05$. Los valores en negrita indican la rotación más productiva en ese año. (***) diferencias significativas al $P < 0,01$

Cuadro 8. Producción de heno de veza y de girasol en kg/ha en rotación con cebada en diferentes Agriculturas.

Años	VEZA HENO				GIRASOL			
	AGRICULTURAS			Efecto	AGRICULTURAS			Efecto
	Convencional	Conservación	Ecológica	Agricultura	Convencional	Conservación	Ecológica	Agricultura
93-94	2.758	2.758	2.837	ns	718	1.081	650	ns
94-95	493	398	634	ns	0	0	0	ns
95-96	3.562	3.093	4.429	ns	1.650	1.520	1.028	ns
96-97	5.521 a	6.670 a	3.862 b	***	1.233	1.129	1.334	ns
97-98	2.319	1.729	1.450	ns	976	813	905	ns
98-99	547 b	497 b	1.214 a	***	506 ab	208 b	667 a	**
99-00	6.655 a	6.735 a	3.225 b	***	0	0	0	ns
00-01	267 b	355 ab	593 a	**	1.929	1.722	2.027	ns
01-02	5.011	5.224	5.035	ns	722 b	583 b	1.148 a	***
02-03	2.924	2.574	2.186	ns	899 a	1.013 a	469 b	***
03-04	3.194	3.007	2.209	ns	994	734	1.061	ns
04-05	1.086	1.147	811	ns	0	0	0	ns
05-06	1.858	2.231	2.287	ns	0	0	0	ns
06-07	3.390	3.093	2.330	ns	1.157	1.073	1.473	ns
07-08	1.414	1.202	630	ns	(*)	(*)	(*)	
13. MEDIA	2.795	2.780	2.364		770	705	769	
14. %	118	118	100		100	92	100	

(ns) no hay diferencias significativas. (***) (**) diferencias significativas al $P < 0,01$ y $0,05$

(*) Como no se ha recogido el girasol todavía, se considerará para el cálculo de productividad energética para el año 07-08 las medias de los 14 años anteriores.

Coste energético:

Al analizar el volumen de energía que se introduce en el sistema con los diferentes métodos productivos, lo primero que se observa es que la agricultura con agroquímicos necesita entre 2 y 5 veces más de energía que la ecológica, dependiendo de las rotaciones con la que se compare (cuadro 9, 10 y 11 y figura 2).

La rotación menos costosa es la rotación cebada-barbecho (C-B) en ecológico y la que más gasta es el monocultivo de cereal (C-C) en producción convencional. La partida energética más importante (más del 50%), está en los fertilizantes y por tanto, es esta partida la que diferencia cuantitativamente la producción ecológica de la agricultura con agroquímicos (Meco y Lacasta, 2006). Cuando se compara la figura 1 y 2 se encuentra una cierta relación entre gasto energético y productividad vegetal, la Agricultura Convencional utiliza más energía y por tanto es más productiva, esta relación no se cumple con los monocultivos de cebada con agroquímicos por lo que se podría deducir que este manejo no es el más adecuado para los ambientes semiáridos de la submeseta sur española.

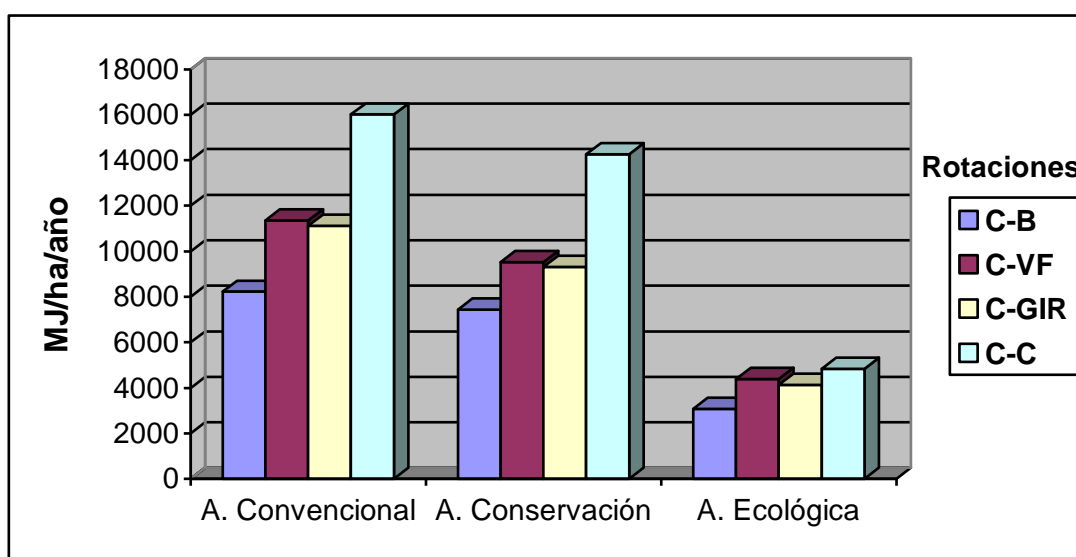


Fig. 2. Coste energético por hectárea y año en megajulios, en diferentes rotaciones considerando tres manejos agrícolas.

Cuadro 9. Agricultura Convencional: Coste energético por hectárea, en diferentes rotaciones (2 años) y el tanto por ciento de los diferentes materiales empleados, en el coste total.

Materiales	ROTACIONES							
	C-B		C-VF		C-GIR		C-C	
	MJ	%	MJ	%	MJ	%	MJ	%
Maquinaria	639	4	1100	5	1109	5	1158	4
Combustible	4206	26	6931	31	7170	32	7648	24
Semillas	1807	11	2807	12	1819	8	3614	11
Herbicidas	280	2	280	1	560	3	560	2
Fertilizantes	9520	57	11600	51	11600	52	19040	59
TOTAL	16452		22718		22258		32020	
MJ/ha/año	8226		11359		11129		16010	
Consumo relativo	100		138		135		195	
kg petróleo/año (1)	189		261		256		368	

Cuadro 10. Agricultura de Conservación-siembra directa: Coste energético por hectárea, en diferentes rotaciones (2 años) y el tanto por ciento de los diferentes materiales empleados, en el coste total.

Materiales	ROTACIONES							
	C-B		C-VF		C-GIR		C-C	
	MJ	%	MJ	%	MJ	%	MJ	%
Maquinaria	519	3	792	4	756	4	849	3
Combustible	2294	14	3848	20	3633	19	4206	2
Semillas	1807	11	2807	14	1819	10	3614	14
Herbicidas	730	5	550	3	830	4	830	3
Fertilizantes	9520	64	11600	59	11600	62	19040	77
TOTAL	14870		19596		18638		28540	
MJ/ha/año	7435		9798		9319		14270	
Consumo relativo	100		132		125		192	
kg petróleo/año	171		225		214		328	

Cuadro 11. Agricultura Ecológica: Coste energético por hectárea, en diferentes rotaciones (2 años) y el tanto por ciento de los diferentes materiales empleados, en el coste total.

Materiales	ROTACIONES							
	C-B		C-VF		C-GIR		C-C	
	MJ	%	MJ	%	MJ	%	MJ	%
Maquinaria	526	9	728	8	765	9	692	7
Combustible	3824	62	5234	60	5688	69	5354	56
Semillas	1807	29	2807	32	1819	22	3614	37
Herbicidas	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilizantes	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	6157		8769		8272		9660	
MJ/ha/año	3079		4384		4136		4830	
Consumo relativo	100		142		134		157	
kg petróleo/año	71		101		95		111	

Productividad energética

En la productividad energética (PE) se ha considerado como valor máximo 10, ya que cuando la producción de cosecha es muy pequeña, los valores se disparan por encima incluso de 100, distorsionando los valores medios que pueden llevar a interpretaciones erróneas. Es importante matizar que cuando los valores superan la unidad, indican que la energía empleada es superior a la energía obtenida, por tanto, cuando los valores medios de los 15 años, son superiores a la unidad es necesario cuestionar la viabilidad energética de ese manejo. En este sentido (cuadro 12 y figura 3), en la Agricultura Convencional no sería viable las rotación (C-GIR) y (C-C), en la Agricultura de Conservación la rotaciones (C-GIR), en Agricultura Ecológica sólo el monocultivo de cebada (C-C) no sería viable energéticamente, aunque este manejo en Agricultura

Ecológica no es realizable por principios y su presencia en el experimento tiene una función de testigo. La figura 3 y 4 se ha elaborado con los datos medios del cuadro 12 y 13, según la fórmula $PE=1/EE$. Hernanz y Girón, 1997, obtenían en la Agricultura de Conservación valores más bajos que los obtenidos en Agricultura Convencional, pero en los valores medios de PE fueron inferiores a la unidad, para las dos agriculturas y para las dos rotaciones que ellos estudiaban cebada-barbecho y monocultivo de cebada. La explicación es que ellos obtenían rendimientos por hectárea superiores.

La PE está muy relacionada con los rendimientos, si estos son bajos, como ocurre en los años con déficit hídrico, las PE son altas, se emplean los mismos recursos energéticos y en cambio se obtienen bajas producciones. En los 15 años de estudio (cuadro 5, 6 y 7), 5 campañas agrícolas, 94-95, 98-99, 00-01, 04-05 y 07-08, las producciones fueron afectadas por la falta de precipitaciones, esta situación es previsible que se agrave en el futuro por el aumento de años secos debido al cambio climático. Las rotaciones con barbecho, paliar en parte este déficit y las producciones no son tan afectadas, habiendo sólo un año que una rotación con barbecho, entre los tres manejos, que tuvo PE superior a la unidad (cuadro 12). En el otro extremo, están los monocultivos de cebada con agroquímicos donde los cinco años con déficit hídrico dieron PE superiores a la unidad. Para cubrir los gastos energéticos empleados en nuestros experimentos ($PE=1$), sería suficiente con producir 650 Kg/ha de grano en monocultivo de cebada con agroquímicos. Esta cifra lleva a pensar que cualquier manejo agrícola en los agrosistemas de cereales de los ambientes semiáridos, debería presentar un balance energético positivo.

Cuadro 12. Productividad energética (PE), en diferentes Agriculturas, rotaciones y años. En las Agriculturas Convencional y de Conservación se considera la paja como un ingreso energético.

Años	Agricultura Convencional				Agricultura Conservación				Agricultura Ecológica			
	C-B	C-VF	C-GIR	C-C	C-B	C-VF	C-GIR	C-C	C-B	C-VF	C-GIR	C-C
93-94	0,21	0,29	0,36	0,17	0,21	0,24	0,24	0,17	0,14	0,13	0,18	0,24
94-95	1,52	4,61	10,00	8,20	0,71	5,47	9,92	3,48	0,47	0,96	0,69	5,52
95-96	0,27	0,17	0,28	0,25	0,34	0,16	0,21	0,27	0,14	0,11	0,19	0,17
96-97	0,17	0,16	0,33	0,27	0,16	0,17	0,33	0,88	0,18	0,14	0,33	0,23
97-98	0,23	0,19	0,33	0,39	0,21	0,21	0,27	0,35	0,28	0,25	0,33	0,80
98-99	0,15	1,16	7,24	1,67	0,21	0,87	4,08	0,53	0,16	0,23	0,84	0,32
99-00	0,16	0,15	0,23	0,23	0,13	0,12	0,17	0,18	0,25	0,14	0,24	0,26
00-01	0,39	1,15	0,57	1,86	0,38	1,05	0,61	0,84	0,45	0,55	0,54	5,99
01-02	0,21	0,15	0,22	0,19	0,19	0,12	0,17	0,19	0,22	0,1	0,35	0,16
02-03	0,25	0,20	0,19	0,72	0,51	0,21	0,15	1,28	0,13	0,16	0,2	2,80
03-04	0,19	0,16	0,16	0,73	0,32	0,16	0,14	0,32	0,17	0,15	0,2	0,93
04-05	0,26	0,80	1,15	1,49	0,53	0,79	1,68	1,60	0,32	0,29	0,77	4,83
05-06	0,23	0,26	0,3	0,32	0,22	0,20	0,27	0,63	0,12	0,16	0,25	0,27
06-07	0,11	0,19	0,25	0,30	0,11	0,20	0,20	0,50	0,16	0,14	0,2	0,42
07-08	0,26	0,31	0,48	1,46	0,34	0,27	0,44	1,74	0,37	0,34	0,98	8,48
Media	0,31	0,66	1,47	1,22	0,30	0,68	1,26	0,86	0,24	0,26	0,42	2,09

Nota: Se pone en negrita cuando la productividad energética es superior a la unidad

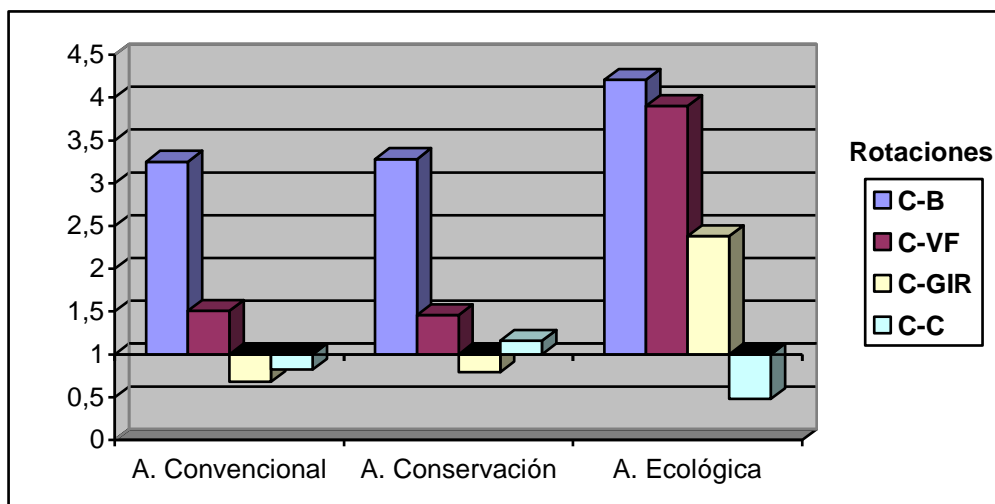


Fig. 3. Eficiencia energética (EE), obtenida de los valores medios de los 15 años de la PE, en diferentes rotaciones considerando tres manejos agrícolas. La paja de los cereales con agroquímicos se extrae y se contabiliza como producción energética.

La PE de 0,10 ($EE = 10$) sólo se ha conseguido en Agricultura Ecológica en la rotación C-VF y en la campaña 00-01 (cuadro 12). En la figura 3 se observa como todas las rotaciones en Agricultura Ecológica tienen eficiencias energéticas superiores a cualquier rotación con agroquímicos y en estas, sólo las rotaciones con barbecho superan la $EE = 3$.

Si en la agricultura con agroquímicos la viabilidad energética está cuestionada por su baja eficiencia (Meco y Lacasta, 2006) esta se hace más palpable, cuando la paja de los cereales se incorpora al suelo, y no participa como ingreso energético (cuadro 13 y Fig. 4), entonces, sólo la rotación con barbecho (C-B) tiene una eficiencia positiva viable no llegando ni siquiera a una $EE = 2$, dos unidades energéticas por cada unidad energética empleada, mientras las rotaciones ecológicas C-B y C-VF duplican esta cifra. Cuando se deja la paja en el sistema, en la agricultura con agroquímicos, mejora las características físicas y biológicas de los suelos, pero no se traduce en un aumento de la productividad vegetal (Lacasta y Meco, 2005).

Cuadro 13. Productividad energética (PE), en diferentes Agriculturas, rotaciones y años. En las Agriculturas Convencional y de Conservación la paja de deja en el sistema y no se contabiliza como un ingreso energético.

Años	Agricultura Convencional				Agricultura Conservación				Agricultura Ecológica			
	C-B	C-VF	C-GIR	C-C	C-B	C-VF	C-GIR	C-C	C-B	C-VF	C-GIR	C-C
93-94	0,35	0,40	0,67	0,29	0,35	0,33	0,39	0,29	0,14	0,13	0,18	0,24
94-95	2,59	4,71	10,00	10,00	1,20	5,32	10,00	5,89	0,47	0,96	0,69	5,52
95-96	0,45	0,25	0,52	0,42	0,58	0,23	0,35	0,45	0,14	0,11	0,19	0,17
96-97	0,29	0,22	0,61	0,47	0,27	0,21	0,53	1,48	0,18	0,14	0,33	0,23
97-98	0,39	0,29	0,61	0,66	0,36	0,31	0,44	0,59	0,28	0,25	0,33	0,80
98-99	0,26	1,67	9,46	2,84	0,35	1,30	6,12	0,90	0,16	0,23	0,84	0,32
99-00	0,27	0,20	0,44	0,40	0,23	0,16	0,30	0,31	0,25	0,14	0,24	0,26
00-01	0,67	1,80	0,97	3,16	0,64	1,59	0,89	1,42	0,45	0,55	0,54	5,99
01-02	0,36	0,21	0,42	0,32	0,32	0,17	0,28	0,33	0,22	0,1	0,35	0,16
02-03	0,42	0,29	0,37	1,22	0,86	0,30	0,26	2,16	0,13	0,16	0,2	2,80
03-04	0,33	0,24	0,31	1,25	0,54	0,23	0,24	0,54	0,17	0,15	0,2	0,93
04-05	0,44	1,09	2,25	2,53	0,90	1,02	2,87	2,70	0,32	0,29	0,77	4,83
05-06	0,40	0,39	0,59	0,54	0,36	0,30	0,46	1,06	0,12	0,16	0,25	0,27
06-07	0,19	0,28	0,47	0,50	0,18	0,28	0,33	0,85	0,16	0,14	0,2	0,42
07-08	0,45	0,47	0,89	2,48	0,57	0,42	0,71	2,93	0,37	0,34	0,98	8,48
Media	0,52	0,83	1,90	1,80	0,52	0,81	1,61	1,46	0,24	0,26	0,42	2,09

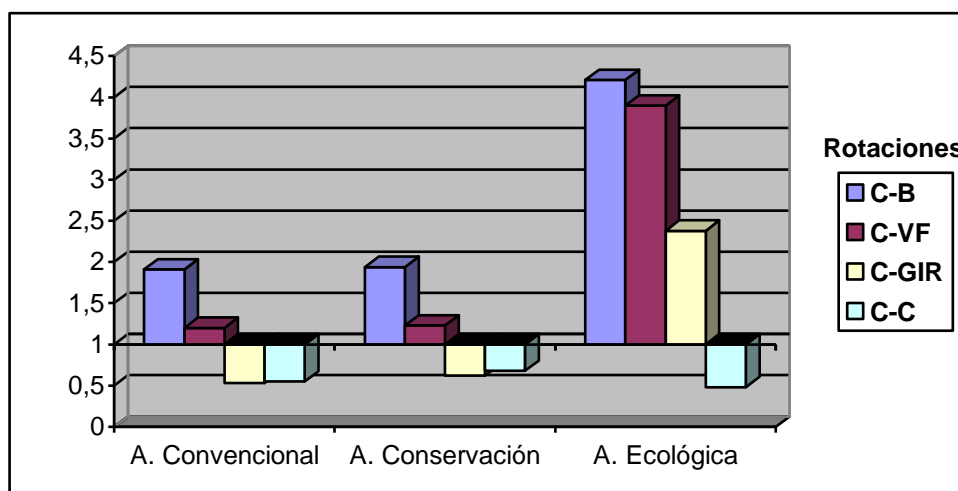


Fig. 4. Eficiencia energética (EE), obtenida de los valores medios de los 15 años de la PE, en diferentes rotaciones considerando tres manejos agrícolas. La paja de los cereales con agroquímicos se deja en el sistema y no se contabiliza como producción energética.

CONCLUSIONES

1. El monocultivo de debe considerar inviable, en los agrosistemas de cereales de ambiente semiáridos de la submeseta sur, porque los valores medios de 15 años, dan valores de productividad energética negativos.

2. La baja eficiencia energética de las Agriculturas Convencional y de Conservación, está en el uso de agroquímicos, que suponen más del 50% de los costes energéticos y no se traducen en un aumento equivalente de la producción, debido a las condiciones ambientales de la submeseta sur, donde los déficit hídricos son frecuentes y por tanto, la eficiencia de los fertilizantes baja. Esta situación se puede agravar en un futuro por el efecto del cambio climático.
3. La Agricultura Ecológica, es la que mejor se adapta a las condiciones ambientales de la mayoría de los secanos españoles, duplicando la productividad energética de las agriculturas con agroquímicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio de Investigación de la Conserjería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha por la financiación del proyecto “Mejora de la fertilidad del suelo a través de la rotación de cultivos” y de los proyectos de larga duración, origen de este trabajo, así como a Luis Martín de Eugenio y José Ramón Vadillo que sin su entrega a los trabajos experimentales de campo no hubiera sido posible su realización.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. (1999). Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial: Nordan-Comunidad. 338 pp.
- Boto, J., P. Pastrana, M. Suarez. (2005). Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, MAPA: 77 pp
- Fernández-Quintanilla, C. (1997). Historia y evolución de los sistemas de laboreo. El laboreo de conservación. En Agricultura de conservación. I. García y P. González (eds). Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos, 1-11, Asociación Española de laboreo de Conservación /Suelos Vivos. Córdoba.
- Fernández-Quintanilla, C. (1999). Impacto ambiental de las prácticas agrícolas. *Agricultura*, nº 810, 1092-1096.
- Hernanz J.L., V.S. Girón. (1997). Utilización de energía en diversos sistemas de laboreo. En *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*, L García Torres y P González Fernández (Eds). Publicado por la Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos. 243-258.
- Lacasta, C. (2005). Agricultura de Conservación: Evolución de las producciones y de parámetros químicos y bioquímicos, en sistemas de cereales del secano, sometidos a diferentes manejos de cultivo. *Tierras de Castilla y León-Agricultura*, nº 116: 48-65.
- Lacasta, C., R. Meco (2004). Estudio de diferentes parámetros agronómicos en cereal de secano. *Comunicaciones: VI Congreso SEAE. Agroecología: Referente para la transición de los sistemas agrarios*: 1513-1530
- Lacasta, C., R. Meco (2005). Efecto de la incorporación de la paja del cereal sobre la productividad de la cebada y sobre algunos parámetros químicos y bioquímicos

del suelo *Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación: El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria*: 417-422.

- Lacasta, C., R. Meco, N. Maire (2005). Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistemas de cereales, sometidos a diferentes manejos de suelo durante 21 años. *Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación: El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria*: 429-436.
- Mate, V. (1999). La agricultura española del último cuarto de siglo. *Agricultura* nº 806.VII-99. 716-731.
- Meco, R., C. Lacasta (2005). El barbecho químico: Productividad y parámetros químicos del suelo. *Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación: El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común*: 493-498.
- Meco, R., C. Lacasta (2006). Influencia de la rotación en la rentabilidad económica y energética de los agrosistemas cerealísticos de secano. *VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica*: Trabajo 61.

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y GASTO DE ENERGÍA COMPARADOS DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA *VERSUS* CONVENCIONAL

AM Alonso, GI Guzmán, L Foraster

Centro de Investigación y Formación en Agricultura Ecológica y Desarrollo Rural de Granada (CIFAED). Camino Santa Fe-El Jau, s/n; 18320 Santa Fe (Granada),
alonso@cifaed.es

RESUMEN

El uso de energía no renovable (ENR) en la agricultura es cada vez mayor, lo que está reduciendo de manera importante su eficiencia energética. Además, existe una preocupación creciente en el mundo por las emisiones de gases de efecto invernadero y su efecto sobre el clima. Todo ello requiere una evaluación energética de las tendencias de cambio en la gestión de los sistemas agrícolas, entre los que se encuentra la agricultura ecológica. Este artículo utiliza los balances energéticos para evaluar la contribución de la agricultura ecológica en el aumento de la eficiencia energética de la agricultura española. Para lograr este objetivo se analizan comparativamente 80 cultivos ecológicos y sus homólogos convencionales, de los que se ha obtenido la información primaria a partir de encuesta directa a explotaciones repartidas por el territorio español. Los resultados medios obtenidos permiten señalar que la eficiencia de la ENR es mayor en los cultivos ecológicos, mientras que el gasto de este tipo de energía es menor. Los aspectos más influyentes en estos resultados son las estructuras semipermanentes (en cultivos bajo abrigo), el consumo de energía eléctrica en el riego con agua elevada, la utilización de maquinaria agrícola y la energía contenida en las producciones obtenidas.

Palabras clave: Agricultura biológica, agroecología, agricultura sostenible, desarrollo sostenible.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha crecido la preocupación entre investigadores, políticos y la sociedad en su conjunto por la sustentabilidad de la agricultura. En la Unión Europea este interés ha surgido sobre todo relacionado con los problemas ambientales de ésta y su repercusión sobre la seguridad alimentaria.

Con respecto al uso de energía y su repercusión en la sustentabilidad de los sistemas agrarios, la progresiva sustitución de trabajo humano y animal, es decir, de energía renovable, por energía proveniente de combustibles fósiles hace que se esté reduciendo considerablemente la eficiencia energética de la producción agraria: algunos balances energéticos realizados en España (López-Gálvez y Naredo, 1996; Alonso y Guzmán, 2004; Guzmán y Alonso, 2008) muestran valores aún positivos, aunque bajos de ésta.

No obstante, es esperable que la agricultura ecológica contribuya de forma significativa al ahorro de energía no renovable al utilizar menos insumos dependientes de este tipo de energía (Pimentel et al., 1983; Dalgaard et al., 2001; Haas et al., 2001; Gündogmus, 2006; Wood et al., 2006; Grönroos et al., 2006; Kaltsas et al., 2007), aunque no siempre es así (Pimentel et al., 1983; Helander y Delin, 2004).

La gran superficie que actualmente ocupa la agricultura ecológica en España garantiza que cualquier cambio de manejo que ahorre energía fósil conlleve un impacto potencial muy elevado. Sin embargo, el modelo de sustitución de insumos que parece estar imponiéndose en el ámbito de la producción ecológica limita este potencial, ya que apenas internaliza los flujos de nutrientes y energía, los cuales son importados de otros ecosistemas. Ello resta eficiencia energética neta y sustentabilidad a la producción ecológica (Langley, 1983; Altieri, 1987; Gliessman, 1997) y la aleja del funcionamiento de la agricultura pre-industrial (Leach, 1976; Pimentel y Pimentel, 1979; Campos y Naredo, 1980; Fischer-Kowalski y Haberl, 1997; Krausmann, 2004; Cussó et al., 2006; Guzmán y González de Molina, 2006).

En este artículo hemos pretendido evaluar la contribución de la agricultura ecológica en España al incremento de la eficiencia energética y a la disminución del consumo de energías no renovables. También se discuten algunas propuestas para mejorar la eficiencia energética de la olivicultura en general, y de la olivicultura ecológica en particular.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para comparar la eficiencia de la energía no renovable (relación entre el producto final y la energía no renovable utilizada) y el consumo de energía no renovable hemos analizado 160 casos de estudio en España: 80 de cultivos ecológicos y otros 80 convencionales (comparación por pares), clasificados en 9 grupos: cultivos extensivos, hortícolas al aire libre, hortícolas bajo abrigo, cítricos, olivar, frutales, vid, frutos secos y subtropicales.

La selección de casos similares se ha basado en tres criterios: historia, proximidad y similitud. Las fincas ecológicas han sido escogidas al azar de acuerdo a cuánto tiempo habían venido produciendo ecológicamente, dado que se necesita tiempo para establecer prácticas de manejo adecuadas y para superar una posible reducción en la producción tras el paso a la agricultura ecológica. Estos productores han venido funcionando entre 4 y 17 años. Las explotaciones convencionales han sido elegidas en función de su proximidad y similitud con las ecológicas de referencia en cada caso; por lo general se han elegido fincas convencionales limítrofes con las ecológicas, con el fin de garantizar similares condiciones agro-climáticas u otras características (de secano o regadío, sistemas de riego, tipos de formación -caso de los frutales-, variedades utilizadas, periodos de producción...). Algunos aspectos del manejo también se han discutido y verificado con técnicos existentes en las zonas. El itinerario técnico de los cultivos ecológicos y convencionales se ha obtenido a través de entrevistas directas, con el fin de obtener información detallada sobre las técnicas de manejo, los tipos de maquinaria e insumos utilizados. Las entrevistas se han realizado entre marzo y julio de 2006.

El cálculo de los indicadores de este apartado conlleva contabilizar en términos energéticos las entradas y salidas bajo diversas formas (materiales, combustibles, electricidad...) de cada cultivo. El primer paso es conocer las distintas técnicas agrícolas realizadas y el segundo hacer la transformación energética de los elementos que intervienen en la producción. Todas las cantidades energéticas se expresan en megajulios (MJ) por hectárea y año.

Los insumos energéticos son aquellas entradas de energía que tienen un coste de oportunidad en sentido económico. El valor energético de los insumos agrarios incorpora la energía gastada en la transformación de los productos hasta el estado en que son usados por los agricultores y la energía bruta contenida en los mismos. Las

salidas de energía conllevan la energía contenida en el material producido en la actividad agraria.

El gasto energético de la maquinaria es debido a tres aspectos, producción de materias primas, fabricación, y reparación y mantenimiento, al que se le suma un cuarto factor, gasto de combustible, a aquellas máquinas con motor de combustión. En este último se han tomado 36,2 MJ/l para el gasoil y 32,1 MJ/l para la gasolina (Audsley et al., 1997).

La energía del trabajo humano es función de la duración e intensidad de las labores realizadas, por lo que, basándonos en Campos y Naredo (1980), se ha considerado un gasto energético de 0,2674 MJ/h para la mano de obra débil (que incluye el manejo de maquinaria), y de 0,4012 MJ/h para el resto de labores.

Con respecto al riego, se ha tenido en cuenta únicamente el gasto energético de la elevación del agua, y no el relativo a las estructuras de riego (sondeo, perforación, bombas, tuberías...). La energía contenida en un Kw-h de electricidad es de 3,583 MJ; considerando una eficiencia en la fabricación y distribución de la energía eléctrica del 33%, el valor resultante es de un gasto de 10,859 MJ por cada kilovatio consumido en destino (González de Molina y Guzmán, 2006).

Dentro de los fertilizantes se han distinguido tres grupos: los químicos y minerales, la materia orgánica en bruto (estiércol y compost) y los orgánicos envasados. El valor energético de los fertilizantes químicos y minerales incluye el gasto de fabricación más el contenido energético del producto (ambos no renovables), en función de los nutrientes aportados. Para los macronutrientes principales los valores energéticos medios utilizados son los aportados por Audsley et al. (1997). En el caso de los macronutrientes secundarios y micronutrientes se toman los valores propuestos por Fluck (1992). En aquellas formulaciones que no incluyan ninguno de estos nutrientes (extractos vegetales, estimuladores del crecimiento...) se ha considerado el valor energético de 0,55 MJ/kg que propone Fluck (1992) para las soluciones líquidas.

La materia orgánica presenta un componente energético renovable medio de 16,667 MJ por kilogramo de materia seca (Campos y Naredo, 1980), siendo éste el valor que se ha utilizado en los distintos tipos de estiércol y compost. En cuanto a los abonos orgánicos envasados se ha considerado la energía contenida en el producto (renovable), calculada multiplicando 16,667 MJ/kg por la materia seca de los mismos, y el valor energético adicional (no renovable) señalado por Fluck (1992) de 1,14 MJ/kg para la producción de mezclas de fertilizantes granulados.

Con respecto a los productos fitosanitarios, la información acerca de los requerimientos energéticos para su producción es relativamente escasa. Se han encontrado datos de 39 materias activas en Green (1987), clasificadas según diversas familias químicas; en consecuencia, se ha llevado a cabo un procedimiento de extrapolación basado en este autor, según los siguientes criterios: a) si la materia activa empleada en los cultivos se encuentra dentro de esa lista, se usa ese dato; b) si la materia activa no se encuentra en dicha lista, pero pertenece a alguna de las familias establecidas, se calcula un valor promedio de la misma familia que se aplica a esta materia activa; y c) si la materia activa ni se encuentra en la lista ni pertenece a ninguna de las familias establecidas, se calcula un valor promedio de todas las existentes y se aplica a esta materia activa. Existen algunas excepciones que no se encuentran en la tipología anterior como son los aceites, minerales sólidos y otras formulaciones, para las cuales se han seguido las propuestas de Fluck (1992).

En algunos cultivos se colocan trampas para el control de insectos. En el caso de las botellas de plástico, el contenido energético de las mismas se ha estimado

considerando que tienen un peso aproximado de 50 g, una duración media de tres años (con un 20% de reposición) y un componente energético de 82,96 MJ/kg de plástico (Audsley *et al.*, 1997).

Para el cálculo de la energía invertida en una estructura de invernadero tipo “parral” se ha obtenido, en primer lugar, los materiales necesarios. En los elementos metálicos se ha considerado la energía unitaria necesaria para la obtención del acero según Cardim (2001), que es de 29,2 MJ/kg, a la que se le ha sumado la energía de fabricación de aperos según Audsley *et al.* (1997), que es 8,6 MJ/kg. En el caso del plástico se ha tomado una densidad de 198 g/m² (López-Gálvez y Naredo, 1996), con el requerimiento energético para su procesado y fabricación indicado por Audsley *et al.* (1997). Respecto al hormigón de los cimientos se ha considerado únicamente que una tercera parte es cemento, cuya energía inherente se ha tomado de Cardim (2001). Y en el caso de la retroexcavadora, la energía horaria considerada ha sido la misma que para un tractor de 90 CV. Se ha procedido a la asignación anual de gasto energético, separando la estructura en sí del plástico. En el primer caso se ha considerado un gasto anual equivalente a la amortización y a la reparación y mantenimiento (20%) con una vida media de 20 años; de donde se obtiene una cantidad de 26.838 MJ/ha. Y en el plástico se ha obtenido un gasto anual equivalente a la amortización (2 años) de 100.199 MJ/ha.

Por lo que respecta a la estructura de protección con malla, se ha considerado similar al invernadero tipo “parral” con algunas modificaciones: menor peso de “otros elementos metálicos”, una densidad más baja de la malla y menos tiempo de mano de obra. Con ello se ha obtenido un gasto anual de la estructura de 26.154 MJ/ha. En el caso de la malla de plástico se ha considerado una vida media de 5 años, con un empleo adicional de energía en reparación y mantenimiento del 20%, lo que supone un gasto energético al año de 21.862 MJ/ha.

En algunos cultivos frutales se emplean mallas antigranizo que tienen una vida media de 7 años. Para el cálculo de la energía se han considerado las características del plástico de invernadero, de lo que ha resultado un gasto de energía anual de 34.354 MJ/ha.

De manera análoga a la realizada en el apartado económico, se ha calculado la energía contenida en una hectárea de acolchado plástico con diferentes marcos de plantación y anchura del plástico. Para ello, se ha partido de un plástico negro o blanco de 100 galgas, con una densidad de 920 Kg/m³. La energía inherente y de fabricación del plástico se ha considerado de 82,96 MJ/kg (Audsley *et al.*, 1997). En el caso del empleo del plástico para solarización, se ha utilizado algo más de la hectárea (11.000 m²).

En el entutorado se ha considerado un empleo medio de 80 Kg/ha de rafia con la anteriormente señalada energía unitaria del plástico (82,96 MJ/Kg), de lo que resulta un gasto energético de 6.636,8 MJ/ha.

Las salidas de energía que se han considerado son las derivadas de la producción principal obtenida. En la mayoría de los cultivos se refiere exclusivamente a los frutos, aunque hay casos, como algunos cultivos extensivos (trigo, cebada, guisante...) en los que también se considera la paja.

Se ha calculado la energía contenida en los productos agrícolas analizados en función de su parte comestible y no comestible (cáscara, piel, semilla...). La proporción y energía de la parte comestible se ha tomado de Mataix y Mañas (1998). Para el cálculo de la energía contenida en la parte no comestible se ha tomado como base la energía de la materia orgánica seca (16,667 MJ/kg). Con este mismo valor energético

y considerando un contenido de humedad entre el 14% y el 17%, González de Molina y Guzmán (2006) calculan un contenido de energía inherente media de 14,095 MJ/kg para la paja de los cereales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten señalar que en general la eficiencia de la energía no renovable es mayor en los cultivos ecológicos (Figura 1), mientras que el gasto de este tipo de energía es menor (Figura 2). Los aspectos más influyentes en estos resultados son las estructuras semipermanentes, el consumo de energía eléctrica en el riego con agua elevada, la utilización de maquinaria agrícola y la energía contenida en las producciones obtenidas.

En primer lugar, es de destacar la absoluta ineficiencia (valores inferiores a la unidad) de los cultivos bajo abrigo, tanto ecológicos como convencionales, debido al enorme gasto de este tipo de energía que requiere la estructura de invernadero que permite su crecimiento. A este hecho se le une la circunstancia del bajo poder calórico que, en líneas generales, presentan los productos que se cultivan de esta manera, lo que provoca que la producción de energía sea pequeña. El empleo de plásticos de cobertura para el control de hierbas también conlleva un gasto energético relativamente importante, que contribuye a reducir la eficiencia de la energía no renovable tanto en los cultivos bajo abrigo como al aire libre.

Relacionado con el anterior, aunque de menor importancia relativa en los invernaderos, se encuentra el consumo de energía eléctrica en el riego con agua elevada. Sin embargo, en otros cultivos -como el olivar, y algunos frutales y hortalizas-, es determinante, reduciéndose la eficiencia de la energía fósil. Este hecho es especialmente notable en el caso del olivar de riego, en el que disminuye sensiblemente este indicador respecto a sus homólogos cultivados en régimen de secano. Si se tiene en cuenta, además, que en el cálculo realizado no se ha considerado el gasto de energía en las instalaciones (gomos, goteros, bombas, tuberías, prospección, canalizaciones...) se puede concluir diciendo que algunos sistemas de regadío podrían llegar a comprometer sobremanera la eficiencia de la energía no renovable, especialmente en aquellos cultivos en los que las salidas energéticas son menores.

Por lo que respecta a la comparación entre cultivos ecológicos y convencionales, la utilización de maquinaria agrícola y, en menor medida, el empleo de insumos (productos fitosanitarios y fertilizantes envasados), donde también está involucrada la maquinaria para su aplicación, influyen en la eficiencia de la energía no renovable.

Inicialmente, podría pensarse que en los cultivos ecológicos sería más elevado el uso de maquinaria, especialmente en el control de hierbas y en la aplicación de fertilizantes, dado que en el primer caso es la principal herramienta (junto con la escarda manual) con la que se cuenta para ello, y en el segundo caso se utiliza con mucha asiduidad materia orgánica bruta (compost de estiércol) en las explotaciones ecológicas analizadas.

En efecto, el control hierbas en los cultivos ecológicos, sobre todo en aquellos casos en los que se pretende dejar el suelo limpio como en los convencionales, requiere un mayor gasto energético en maquinaria, principalmente en algunas plantaciones permanentes y hortalizas. Así, el empleo de aperos clásicos (cultivadores, rastras...) o específicos (desbrozadoras, picadoras...) para el control de flora espontánea o sembrada como abono verde, contribuyen en algunos casos a reducir la eficiencia de

la energía no renovable en cultivos ecológicos, aunque su pequeña cuantía relativa hace que su influencia en este indicador no sea decisiva.

Con respecto a la fertilización, la mayor parte de los abonos químicos sólidos para el abonado de fondo (los utilizados en mayor cantidad), se aplican de forma mecánica en los cultivos convencionales con un relativamente bajo gasto energético (generalmente con abonadora centrífuga). Por el contrario, aunque hay algunos fertilizantes ecológicos que se pueden aplicar del mismo modo, muchos de ellos, especialmente el estiércol compostado, requieren el empleo de maquinaria específica (remolque, remolque esparcidor, pala...); de ahí que en algunos casos ecológicos se incremente el gasto energético de esta labor en los cultivos ecológicos respecto a los convencionales, reduciendo la eficiencia de la energía no renovable. Sin embargo, hay una tendencia generalizada en las explotaciones ecológicas a reducir tanto la intensidad de las labores de cultivo como las dosis de fertilizantes, contribuyendo con ello a que esta labor de aplicación de compost no sea, en la mayoría de los casos que la llevan a cabo, un factor determinante en el indicador de eficiencia energética.

En el caso de los tratamientos contra plagas y enfermedades nos encontramos con una situación algo diferente; es decir, en la mayoría de los casos, la frecuencia e intensidad de los mismos son más bajas en los cultivos ecológicos que en los convencionales. En estas circunstancias el indicador de eficiencia energética se ve favorecido en los primeros.

En cualquier caso, hay orientaciones productivas con un uso poco intensivo de tecnologías, esto es, cultivos en los que se llevan a cabo muy pocas labores, como los cultivos extensivos de secano, el olivar, la vid y los frutos secos, donde el peso específico de la maquinaria es especialmente relevante por cuanto al uso de energía se refiere. Por ello, la realización de labores diferentes con intervención de maquinaria en los cultivos ecológicos y convencionales, pueden inclinar la balanza de la eficiencia y uso de la energía no renovable en una u otra dirección.

Con respecto al último factor relevante señalado, los rendimientos obtenidos, decir que éstos son en general menores en los cultivos ecológicos que en sus homólogos convencionales (Figura 3). Ello está suponiendo unas salidas de energía también menores, lo que implica una disminución de la eficiencia de la energía no renovable. Esto es especialmente notable en algunos casos de cultivos extensivos, cítricos y frutales. Entre las razones que contribuyen a explicar estos resultados se encuentran la recuperación de la fertilidad del suelo (que puede llevar varios años) durante el proceso de transición ecológica, la aplicación de unidades fertilizantes (especialmente macronutrientes) por debajo de los niveles óptimos de los cultivos, la no realización o la aplicación inadecuada de tratamientos contra plagas y enfermedades, y el mal control de hierbas permitiendo la competencia por el agua o los nutrientes con el cultivo en periodos críticos.

A modo de resumen sobre el impacto energético, baste indicar que los resultados medios obtenidos, con las consideraciones señaladas, muestran una mayor eficiencia y un menor gasto de energía no renovable en los cultivos ecológicos respecto a los convencionales en todas las orientaciones productivas. Sin embargo, es preciso ajustar determinados aspectos que permitan incrementar la sustentabilidad energética de los sistemas agrícolas en general y de los ecológicos en particular.

CONCLUSIONES

Las actividades económicas requieren energía para su funcionamiento. Los modelos industriales de crecimiento están basados en el uso de energía fósil, que los hace muy

dependientes de la disponibilidad de la misma. La actividad agraria no es una excepción y actualmente en España se encuentra en una encrucijada debido, entre otras razones, a la dependencia que tiene respecto a los combustibles fósiles, cuyo incremento de precio está ocasionando a su vez un incremento importante en el coste de las tecnologías utilizadas.

Esta dependencia es, como acabamos de mostrar, superior en la agricultura convencional respecto a la ecológica. Sin embargo, en ambos sistemas hay aspectos a mejorar.

Una de las tecnologías que compromete la eficiencia de la energía no renovable es el riego. Teniendo en cuenta, además, que el agua es un recurso cada vez más escaso, especialmente en el área mediterránea, podría ser cuestionable su empleo en cultivos adaptados al secano (olivar, extensivos, almendro, vid...), sobre todo cuando va unido a una sobreexplotación de los recursos hídricos y, por tanto, al uso insustentable de este recurso. Desde la perspectiva de la sustentabilidad es importante mantener los secanos en la región mediterránea, dado que estos espacios productivos han jugado un papel fundamental en la agricultura preindustrial generando la suficiente energía renovable (granos-pienso y rastrojos para el ganado de labor, leña...) para hacer funcionar al conjunto de los agroecosistemas y, en último término, a las sociedades (González de Molina y Guzmán, 2006; Cussó et al., 2006). Este papel, adaptado a las condiciones tecnológicas y socioeconómicas actuales, puede ser recuperado para el futuro, contribuyendo a reducir las emisiones de gases con efecto invernadero y otras externalidades negativas sobre los recursos naturales, como la sobreexplotación y eutrofización hídrica.

Se puede disminuir la importación de energía no renovable procedente de otros sistemas mediante un mayor acoplamiento de la agricultura al territorio en el que se encuentran. El uso de compost de residuos vegetales y animales, el incremento de la biodiversidad funcional (setos, plantas silvestres, asociaciones y rotaciones de cultivos...) y el empleo de cubiertas vegetales temporales (en aquellos cultivos que lo permitan) son estrategias que no implican un uso extra de energía fósil; muy al contrario, permitirían reducir el consumo de abonos y productos fitosanitarios generados con un consumo energético importante.

Relacionado con lo anterior, una alternativa que se plantea es el establecimiento de incentivos para la creación de plantas de compostaje con el objetivo de ser aprovechable el producto final para la fertilización de los cultivos. De ello se derivaría, además, la probable activación de la capacidad de innovación de los agricultores cercanos a esas plantas que, como ha ocurrido ya en algunos casos, iniciarían experiencias de compostaje en sus propias fincas con residuos de la explotación, que de otra manera son quemados contribuyendo a la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera.

Por otro lado, todavía se puede disminuir el uso innecesario de la maquinaria empleada para el acondicionamiento del suelo y el control de las hierbas. Este uso debe quedar reducido a aquellas intervenciones exclusivamente necesarias para evitar la competencia por el agua y nutrientes, y el riesgo de incendio que supone la permanencia de hierba seca en algunos cultivos como los extensivos y los leñosos.

Pero en el caso de los cultivos ecológicos, hacer las labores precisas, aplicar los fertilizantes en sus dosis óptimas, realizar los tratamientos en su momento, etc., requiere la generación y transmisión eficaz de información técnica que apenas existe en España. Por ello, es necesario fomentar la investigación en agricultura ecológica, contribuyendo desde el sector público a la creación y consolidación de grupos competitivos que trabajan en este campo, dotándolos de recursos. Y además, es

preciso establecer mecanismos de transferencia de tecnologías e información en el sector ecológico. Aunque las antiguas agencias de extensión agraria han perdido prácticamente sus funciones de transferencia de tecnologías en todas las Comunidades Autónomas, sería oportuno que en éstas hubiera personal formado en agricultura ecológica que pudiera asesorar a aquellos agricultores que lo solicitaran. La potenciación de portales institucionales en internet con información sobre agricultura ecológica podría apoyar la prestación de este servicio. Muchos problemas particulares de los productores ecológicos tienen ya solución, por lo que la puesta en marcha de mecanismos de comunicación como el señalado permitiría solventar limitantes de una manera rápida.

Por último, hay tecnologías y factores de producción, como la estructura de los invernaderos, los plásticos, los combustibles o los insumos industriales (abonos, plaguicidas...), en los que actualmente es muy difícil mejorar su eficiencia energética, al requerir energía en su fabricación y ser ésta de origen no renovable en su gran mayoría. Para que se incremente esta eficiencia son necesarios cambios en las políticas energéticas, como el fomento de la generación de energías renovables (eólica, solar...) o el apoyo a la creación de plantas de biocombustibles a escala local (incluso la instalación de fábricas en cooperativas o empresas de agricultores) que minimicen, a su vez, el uso de energía en transportes innecesarios. En este segundo caso, no obstante, habría que valorar el uso del territorio y realizar un balance energético de la producción y transformación para determinar la idoneidad de las mismas en cada zona. En cualquier caso, ambas estrategias permitirían mejorar notablemente la sustentabilidad no sólo de la actividad agraria, sino también la de todos los procesos y actividades productivas en general, dado que, en último término, son energético-dependientes.

AGRADECIMIENTOS

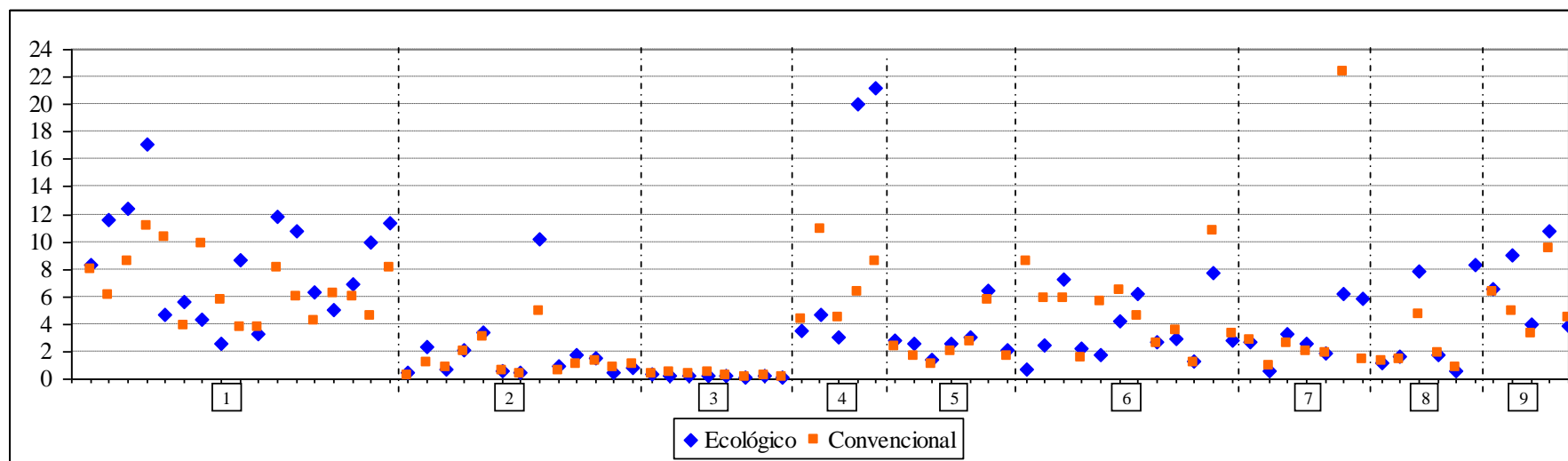
Los datos utilizados en el presente trabajo han sido obtenidos a partir del proyecto “La ayuda agroambiental a la producción ecológica: influencia en el desarrollo rural endógeno de las áreas rurales”, financiado por la Dirección General de Desarrollo Rural del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación:

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, A.M., G.I. Guzmán. 2004. La sustentabilidad del olivar ecológico. En *Manual de Olivicultura Ecológica*. ISEC-Universidad de Córdoba, Córdoba, 115-138.
- Altieri, MA. 1987. Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Wetsview Press, Boulder.
- Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., Hausheer, J., Jolliett, O., Kleijn, R., Mortensen, B., Pearce, D., Roger, E., Teulon, H., Weidema, B., van Zeijts, H. 1997. Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report of the Concerted Action AIR3-CT94-2028. Silsoe Research Inst., Silsoe, UK.
- Campos, P., Naredo, J.M. 1980. La energía en los sistemas agrarios. Agricultura y Sociedad 15, 17-113.
- Cardim, A. 2001. Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento: aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

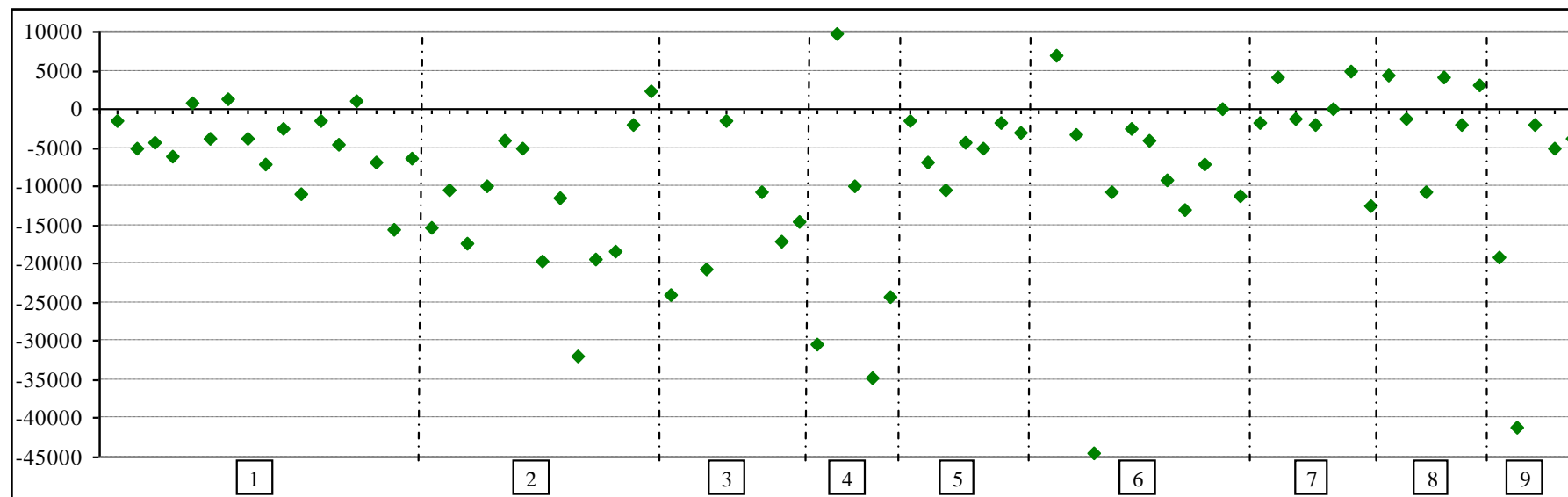
- Cussó, X., Garrabou, R., Tello, E. 2006. Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860-70: flows, energy balance and land use. *Ecological Economics* 58, 49-65.
- Dalgaard, T., Halberg, N., Porter, J.R. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 87 (1), 51-65.
- Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. 1997. Tons, Joules and Money: Modes of Production and Their Sustainability Problems. *Society and Natural Resources* 10 (1), 61-85.
- Fluck, R.C. 1992. Energy of Human Labor. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in Farm Production. Energy in World Agriculture*, 6. Elsevier, Amsterdam, 31-37.
- Gliessman, S.R. 1997. *Agroecology. Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Press, Chelsea.
- González de Molina, M., Guzmán, G.I. 2006. Tras los pasos de la insustentabilidad. *Agricultura y medio ambiente en perspectiva histórica (siglo XVIII-XX)*. Icaria, Barcelona.
- Green, M.B. 1987. Energy in Pesticide Manufacture, Distribution and Use. In: Helsel, Z.R. (Ed.), *Energy in Plant Nutrition and Pest Control. Energy in World Agriculture*, 2. Elsevier, Amsterdam, 165-177.
- Grönroos, J., Seppälä, J., Voutilainen, P., Seuri, P., Koikkalainen, K. 2006. Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117, 109-118.
- Gündogmus, E. 2006. Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holdings in Turkey. *Energy conversion and management* 47, 3351-3359.
- Guzmán, G.I., Alonso, A.M. 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agr. Syst.* (2008), doi:10.1016/j.agsy.2008.06.004 (en prensa).
- Guzmán, G.I., González de Molina, M. 2006. Sobre las posibilidades de crecimiento agrario en los siglos XVIII, XIX y XX. Un estudio de caso desde la perspectiva energética. *Historia Agraria* 49, 437-470.
- Haas, G., Wetterich, F., Köpke, U. 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 43-53.
- Helander, C.A., Delin, K. 2004. Evaluation of farming systems according to valuation indices developed within a European network on integrated and ecological arable farming systems. *European Journal of Agronomy* 21, 53-67.
- Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D., Kalburtji, K.L. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122 (2), 243-251.
- Krausmann, F. 2004. Milk, manure and muscle power. *Livestock and transformation of pre-industrial agriculture in Central Europe. Human Ecology* 32 (6), 735-772.
- Langley, J.A., Heady, E.O., Olsen, K.D. 1983. The macro implications of a complete transformation of U.S. agricultural production to organic farming practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 10, 323-333.

- Leach, G. 1976. Energy and Food Production. Science and Technology. IPC Press Limited, Surrey.
- López-Gálvez, J., Naredo, J.M. 1996. Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos. Fundación Argentaria y Visor Distribuciones. Madrid.
- Mataix, J., Mañas, M. (Eds.). 1998. Tabla de composición de alimentos españoles. Universidad de Granada, Granada.
- Pimentel, D. 1992. Energy Inputs in Production Agriculture. In Fluck, R.C. (Ed.) Energy in Farm Production. Energy in World Agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, 13-29.
- Pimentel, D., Berardi, G., Fast, S. 1983. Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 9 (4), 359-372.
- Pimentel, D., Pimentel, M. 1979. Food, Energy and Society. Edward Arnold, London.
- Wood, R., Lenzen, M., Dey, C., Lundie, S. 2006. A comparative study of some environmental impacts of conventional and organic farming in Australia. Agricultural Systems 89 (2-3), 324-348.

FIGURAS

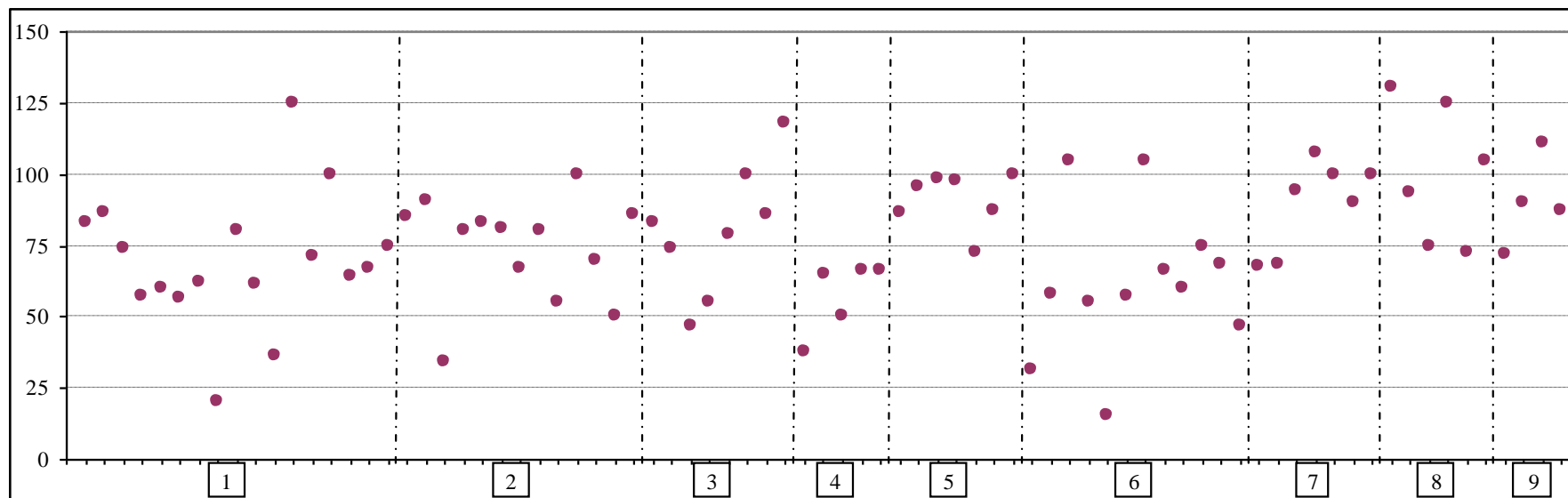
Nota: 1 = Cultivos extensivos; 2 = Hortalizas al aire libre; 3 = Hortalizas invernadero; 4 = Cítricos; 5 = Olivar; 6 = Frutales; 7 = Vid; 8 = Frutos secos y 9 = Subtropicales

Figura 1. Eficiencia de la energía no renovable en los grupos de cultivos ecológicos y convencionales (MJ/MJ)



Nota: 1 = Cultivos extensivos; 2 = Hortalizas al aire libre; 3 = Hortalizas invernadero; 4 = Cítricos; 5 = Olivar; 6 = Frutales; 7 = Vid; 8 = Frutos secos y 9 = Subtropicales

Figura 2. Diferencias en el empleo de energía no renovable: cultivos ecológicos menos convencionales (MJ/ha)



Nota: 1 = Cultivos extensivos; 2 = Hortalizas al aire libre; 3 = Hortalizas invernadero; 4 = Cítricos; 5 = Olivar; 6 = Frutales; 7 = Vid; 8 = Frutos secos y 9 = Subtropicales

Figura 3. Rendimientos de los cultivos ecológicos respecto a sus homólogos convencionales (%)